

**DISEÑO DE INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE LOS SERVICIOS AUXILIARES DE LA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SALVAJINA**

**ELIAN OSORIO TABORDA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

**DISEÑO DE INGENIERÍA CONCEPTUAL BÁSICA, Y DE DETALLE PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE LOS SERVICIOS AUXILIARES DE LA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SALVAJINA**

**ELIAN OSORIO TABORDA**

**Pasantía para optar al título de  
Ingeniero Eléctrico**

**Director  
ADOLFO ORTIZ ROSAS  
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por La Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Eléctrico.**

**ADOLFO ORTIZ ROSAS**

---

**Director**

**Santiago de Cali, noviembre de 2006**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

ING. ADOLFO ORTIZ ROSAS. Director de trabajo de grado. Profesor de La Universidad Autónoma de Occidente.

ING. JORGE JHON RENDON. Director de trabajo de grado. Jefe de La Central Hidroeléctrica de Salvajina de La Empresa de Energía del Pacífico S.A. E.S.P. (EPSA).

ING. MARIA F. RODRIGUEZ. Jefe de mantenimiento eléctrico y operación de La Central Hidroeléctrica de Salvajina. (EPSA E.S.P.).

ING. GUSTAVO SERRATE. Jefe de mantenimiento mecánico de La Central Hidroeléctrica de Salvajina. (EPSA E.S.P.).

ING. JAVIER VALENCIA. Departamento de Mantenimientos Especiales de La Empresa de Energía del Pacífico. (EPSA E.S.P.).

ANTONIO VILLEGAS REINA. Supervisor de mantenimiento eléctrico de La Central Hidroeléctrica de Salvajina. (EPSA E.S.P.).

Electricistas y operadores de La Central Hidroeléctrica de Salvajina (EPSA E.S.P.).

A todos ellos mis agradecimientos porque de una u otra forma me apoyaron y me impulsaron a lograr este objetivo.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
GLOSARIO	12
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	15
1 ESTUDIO DEL SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL ACTUAL	23
1.1 INTRODUCCIÓN	23
1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES DE AC PARA UNA SUBESTACIÓN O UNA HIDROELÉCTRICA	26
1.3 ESQUEMAS DE CONEXIÓN PARA SERVICIOS AUXILIARES DE CORRIENTE ALTERNA	30
1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PARA PROTECCION Y CONTROL DE SERVICIOS AUXILIARES PARA CORRIENTE ALTERNA	41
1.5 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SALVAJINA	44
1.6 VERIFICACIÓN DE PLANOS Y CONEXIONES ACTUALES	57
1.7 CONCLUSIONES DEL CAPITULO ANTERIOR	61
2 ESTRATEGIAS DE CONTROL, ALARMAS Y COMUNICACIÓN PROPUESTAS	63
2.1 INTRODUCCIÓN	63
2.2 ARQUITECTURA DEL DCS APLICADO A LA INDUSTRIA ELÉCTRICA	65
2.3 PROPUESTA DE ARQUITECTURA DE CONTROL Y COMUNICACIÓN PARA LA CENTRAL HIDROELECTRICA DE SALVAJINA	68

2.4 PROPUESTA DE ARQUITECTURA DE CONTROL Y COMUNICACIONES PARA LOS SERVICIOS AUXILIARES DE CORRIENTE ALTERNA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SALVAJINA BAJO NORMA IEC.	71
2.4.1 Arquitectura de comunicaciones	73
2.4.2 Estrategias del sistema de control y alarmas	75
2.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO ANTERIOR	81
3 SELECCIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE PARA LA OPTIMIZACION DEL CONTROL DE LOS SERVICIOS AUXILIARES	82
3.1 INTRODUCCIÓN	82
3.2 PARÁMETROS DE SELECCIÓN	83
3.2.1 Especificaciones técnicas (normas y estandarización)	83
3.2.2 Selección económica	84
3.2.3 Selección de acuerdo a normas legales y ambientales	85
3.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO ANTERIOR	86
4 CONCLUSIONES	88
5 RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	91

## LISTA DE DIAGRAMAS

	Pág.
Diagrama 1. Secuencia de operación manual de los interruptores.	54
Diagrama 2. Secuencia de operación automática de los interruptores.	55
Diagrama 3. Secuencia de funcionamiento de planta Diesel emergencia.	56
Diagrama 4. Secuencia automática propuesta.	79
Diagrama 5. Secuencia planta diesel propuesta	80

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Actividades por cada fase en el desarrollo del proyecto	21
Tabla 2. Funciones de protección y el símbolo ANSI/IEC	43
Tabla 3. Hoja de ruta para el cambio de los servicios auxiliares en la actualidad	52
Tabla 4. Listado de señales de entrada y salida para el PLC	58
Tabla 5. Simbología típica	95
Tabla 6. Listado de materiales	131



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama unifilar básico.	26
Figura 2. Sistema de distribución de potencia eléctrica	30
Figura 3. Barra de servicios auxiliares alimentada desde barraje principal	32
Figura 4. Energía auxiliar suministrada por medio de Turbogeneradores	33
Figura 5. Energía auxiliar suministrada por un generador auxiliar acoplado al eje del generador principal	34
Figura 6. Barra de servicios auxiliares alimentada por transformador conectado a los terminales de salida del generador	36
Figura 7. Energía auxiliar suministrada por dos fuentes eléctricamente independientes	38
Figura 8. Energía auxiliar suministrada por dos fuentes en paralelo	40
Figura 9. Servicios auxiliares Hidroeléctrica Salvajina	46
Figura 10. Diagrama unifilar servicios auxiliares Hidroeléctrica de Salvajina	48
Figura 11. Interruptor de potencia para 1200 Amperios	50
Figura 12. Control de relés para un interruptor de potencia	51
Figura 13. Estrategia de control y comunicaciones para La Central Hidroeléctrica de Salvajina	68
Figura 14. Arquitectura de control y comunicaciones Serv. Aux. AC	72

Figura 15.	Red Profibus	74
Figura 16.	Arquitectura de comunicaciones	75
Figura 17.	Estrategia de control	76
Figura 18.	Tipos de lenguaje de programación para PLC's	118
Figura 19	Desarrollo del programa Top-down vs. Botton-up	119
Figura 20.	Simbología IEC	121
Figura 21.	Arquitectura para una central de generación	123
Figura 22.	Arquitectura para una unidad de generación	124
Figura 23.	Interfaz grafica	125
Figura 24.	Sitio de instalación del PLC	126
Figura 25.	Hoja 1 planos	132
Figura 26.	Hoja 2 planos	133
Figura 27.	Hoja 3 planos	134
Figura 28.	Hoja 4 planos	135
Figura 29.	Hoja 5 planos	136
Figura 30.	Hoja 6 planos	137
Figura 31.	Hoja 7 planos	138

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Pertinencia de la norma.	91
Anexo B. Simbología IEC.	121
Anexo C. Arquitectura SICAM.	123
Anexo D. Interfaz gráfica	125
Anexo E. Ubicación física para la instalación del PLC	126
Anexo F. Oferta de equipos con software normalizado	127
Anexo G. Planos para conexión del PLC	132
Anexo H. Programa Grafcet para el control de los Servicios Auxiliares AC	139
Anexo I. Resumen Formato IEEE	144

## **GLOSARIO**

AC: corriente alterna

CCM: centro de control de motores

DC: corriente directa

DCS: sistema de control distribuido

DDC: control digital directo

FB: bloque funcional

GAS: servicios auxiliares generales

HMI: interfaz Hombre-Máquina

NCM: sistema de control numérico

PC: computador personal

PID: proporcional, integral y derivativo

PLC: controlador lógico programable

POU: unidad de organización de programas

SCADA: sistema de supervisión y adquisición de datos

SFC: grafico funcional secuencial

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es la realización del estudio para automatizar el sistema de mando, control y monitoreo de los Servicios Auxiliares de corriente alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina que actualmente funcionan con lógica cableada, por un control diseñado con lógica programada.

En la Ingeniería conceptual se realiza el levantamiento de las necesidades en el área de los servicios auxiliares de la planta, al mínimo costo, teniendo en cuenta los requisitos de calidad industrial actualmente. Se realiza el estudio del proceso, se identifican todas las señales que intervienen en este, y se elabora el listado de opciones para la implementación del nuevo sistema de mando, control y monitoreo de los servicios auxiliares. Una vez conocida la lista de opciones se escoge la más viable teniendo en cuenta conceptos como: costos, soporte técnico, confiabilidad, estandarización, etc.

A nivel de ingeniería básica y de detalle se pretende dejar claramente especificados los equipos, planos eléctricos, tablas de conexiones, programas y estrategias de operación de los mismos. Esto permite que personal no especializado solo en una disciplina pueda fácilmente entender la filosofía de funcionamiento de los diferentes dispositivos utilizados para el control y la supervisión del proceso.

Los documentos de ingeniería generados son los siguientes:

- Diagrama unifilar de control y protección.
- Diagrama general de alimentación DC de los equipos.

- Plano de ubicación de equipos.
- Programación del autómata.
- Estrategia de alarmas
- Estrategia de comunicaciones

## INTRODUCCIÓN

Como opción de trabajo de grado se realizó una pasantía en el Área Eléctrica de LA CENTRAL HIDROELECTRICA DE SALVAJINA, la cual consistió en el desarrollo de un proyecto para el cambio de la lógica cableada por lógica programada (Controlador Programable), para el control de los SERVICIOS AUXILIARES de Corriente Alterna de La Central.

LA CENTRAL HIDROELECTRICA DE SALVAJINA, se encuentra ubicada en el corregimiento de Suárez, municipio de Buenos Aires, Departamento del Cauca a 65 Km. al sur de la ciudad de Cali. Inició operaciones en el año de 1985. La componen 3 turbo-generadores sincrónicos con capacidad nominal de 100MVA cada uno. Un patio de conexiones con 2 líneas de transmisión a 220 KV que enlazan las subestaciones de Pance y Juanchito en la ciudad de Cali, energía entregada al SIN (Sistema interconectado Nacional).

El sistema de servicios auxiliares de corriente alterna está diseñado para operar de varias maneras, con el objeto de asegurar una adecuada potencia para el funcionamiento de la central durante épocas de mantenimiento, durante fallas, cómo durante la operación normal.

Los servicios auxiliares energizan los CCM (Centros de Control de Motores) de cada unidad a través de interruptores de gran capacidad, aquí se conectan todos los equipos eléctrico-mecánicos asociados a la planta como son: Fuentes AC/DC, motores, bombas, compresores, ventiladores, controles eléctricos, equipos de refrigeración, regulador de velocidad, etc.

También proveen la alimentación general de los dispositivos eléctricos de la central tales como: Puente grúa, registradores de fallas de línea, registradores de eventos, reloj maestro, indicadores de nivel (embalse, canal de fuga y del pozo de drenaje), cargadores de baterías sistema de 48 y 125 VCC, sistemas de calefacción, ventilación, equipos de telecomunicación, protección contra incendio y alumbrado interno y externo entre otros.

El control de los interruptores de los servicios auxiliares se opera remotamente desde sala de control o pueden ser accionados localmente. Un operador se encarga de este sistema de acuerdo a las necesidades del servicio y a consignas técnicas fijadas por la jefatura de La Central.

El objetivo general es el desarrollo de la Ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización del control de los SERVICIOS AUXILIARES de corriente alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina.

Los objetivos específicos se desarrollan en cada uno de los capítulos del documento, y son:

- Realizar el estudio del sistema de potencia y control actual de los sistemas auxiliares basados en los requerimientos de la empresa y la necesidad de actualizar tecnológicamente los procesos de la planta.
- Proponer con base en el análisis del punto anterior, las nuevas estrategias de control de los servicios auxiliares.



- Selección del hardware y software para la optimización del sistema de potencia, instrumentación eléctrica de campo, control, comunicaciones y supervisión del proceso.
- Generación de planos, programas para la estrategia de control, para la estrategia de supervisión y la estrategia de comunicaciones.
- Elaboración de un artículo IFAC de este proyecto.

El control de los Servicios Auxiliares de corriente alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina presenta un atraso tecnológico evidenciado por una lógica cableada controlada por más de 350 contactos y otros dispositivos de accionamiento eléctrico. Existe calentamiento excesivo de los relés, debido a la cantidad de estos elementos que tiene el sistema y el reducido espacio por la robustez de las partes. Esto ocasiona que se vuelva muy laboriosa y larga la actividad de los mantenimientos tanto preventivos como correctivos. No existe en la actualidad un panel ó tablero que nos muestre detalladamente el diagnostico del control y la supervisión de variables. El control no opera adecuadamente en forma automática ante eventos o cuando se realizan maniobras sobre los interruptores de los servicios auxiliares. Es uno de los sistemas que requiere mayor cantidad de órdenes de mantenimiento tanto preventivo como correctivo, verificable por las estadísticas de mantenimiento debido a la frecuente contaminación de contactos y reposición o reparación de componentes de los relés, sumado a lo anterior la difícil comercialización de estos dispositivos.

Los principales conceptos que fundamentan el marco teórico y conceptual del presente trabajo son:

- Los servicios auxiliares de corriente alterna en una Central Hidroeléctrica tienen como función principal proveer la alimentación necesaria para controlar, alimentar los sistemas para producir energía y proteger la transmisión y distribución de energía eléctrica. Durante condiciones anormales o cambios intencionales de las condiciones de operación, el sistema de control deberá hasta donde sea posible asegurar la continuidad del servicio de energía eléctrica.
- El criterio general que se tiene en cuenta para el diseño de los mandos de control y protecciones para un sistema de potencia de corriente alterna es la de establecer unos requerimientos básicos como son: Facilidad de expansión, automatización activa, seguridad, disponibilidad, flexibilidad y mantenimiento.
- Debido al avance de los sistemas de supervisión y recolección de datos, el control de los centros de carga ha evolucionado rápidamente desde sistemas completamente manuales de operación local, a sistemas completamente automáticos de operación remota.
- Cualquier tipo de proyecto moderno en el Sector Eléctrico debe considerar en forma integrada las áreas de Protecciones, Control, Comunicaciones y Automatización, particularmente por la introducción en el mercado de controladores programables Multifuncionales con capacidad de comunicación a altas velocidades, interfaces de redes y protocolos que facilitan la transferencia de información entre si y hacia un centro de control. Estas características, combinadas con los grandes avances que en el área de comunicaciones y automatización de centros de carga y subestaciones se han desarrollado recientemente, permiten el control y la supervisión óptima de un sistema de potencia.

- En la actualidad se instala un sistema completamente automatizado de Servicios Auxiliares de Corriente Alterna en La Central Hidroeléctrica del Alto Anchicayá, la configuración del nuevo sistema de potencia incluye la configuración de anillos redundantes con operación automática controlada por PLC. El sistema cubre los servicios eléctricos de potencia que requiere la central. El voltaje de fuente es de 13.800 voltios. Los interruptores de potencia están diseñados, seleccionados, y probados de acuerdo con ANSI C37.16, ANSI C37.50, ANSI/IEEE C37.13. Los interruptores diseñados para 600 voltios, con capacidad de corte en corto circuito trifásico de 42 KA, tripolares, con dos bobinas de apertura, una bobina de cierre, los interruptores son de tipo extraíble con protección electrónica de rango ajustable. Los CCM'S (Centros de control de motores) tienen red de comunicación Device-Net debidamente configurada para control y monitoreo de los elementos que se encuentran en cada una de las celdas que componen el sistema de servicios auxiliares. Esta red esta provista con el hardware necesario para comunicarse con el supervisorio RS-VIEW y con los PLC's existentes en la central. La interfase del operador consiste de un teclado y un display digital tipo LCD Back Light que permite una fácil visualización de los parámetros. Contiene un software de programación XSoft que cumple con la norma IEC 61131-3, ofreciendo un entorno amigable y flexible al permitir la programación en diversos lenguajes. Incluye además una poderosa herramienta de visualización y la posibilidad de realizar simulaciones en linea.
- La gestión eficiente de la automatización de una planta y de su producción impacta directamente sobre los resultados. Las industrias se enfrentan diariamente con el desafío de producir mejor, más rápido y a un precio más competitivo.

La justificación del estudio se soporta en:

- Los controles, la supervisión y protecciones de un equipo o sistema electro-mecánico deben estar soportados por un diseño de respuesta inmediata, facilidad en actividades de mantenimiento, poseer alternativas de operación y continuidad en el servicio que presta.
- La modernización del control de los servicios auxiliares es de gran importancia ya que repotencializa el equipo, mejora la disponibilidad y disminuye los costos de mantenimiento.
- El control mediante un autómata programable ofrece grandes ventajas como son: Mejorar la confiabilidad del sistema, eliminar posibles errores humanos, reducir pérdidas económicas, disminuir costos por mantenimiento preventivo y correctivo, reducido espacio para su instalación, como la lógica del circuito es programada se elimina la necesidad de utilizar relés y temporizados, todos estos elementos se programan en el Autómata.
- Se requiere de un panel de anunciación que presente el estado de los interruptores en tiempo real, estado de la secuencia que debe operar al momento de una falla en estos servicios o ante una maniobra propia efectuada por el operador.
- En la actualidad y dados los cambios en las leyes energéticas Colombianas debido a la entrada en vigencia de normas y reglamentos eléctricos, se manejan protocolos con sanciones manifiestas por continuidad del servicio y rapidez de respuesta.

- La empresa tomo la decisión de modernizar este sistema por la garantía que se manifiesta: Técnicamente por rapidez, confiabilidad de la operación y disminución del mantenimiento, económicamente por la respuesta ante los convenios energéticos con las entidades de regulación.
- Por último facilitar el ejercicio de la aplicación del conocimiento adquirido en la ingeniería eléctrica, por lo cual se establece una economía de intercambio entre el conocimiento y el sistema a modernizar.

Las actividades llevadas a cabo fueron desarrolladas de acuerdo al siguiente plan, se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Actividades por cada fase en el desarrollo del proyecto

ITEM	Ing. Conceptual	FASE DE DESARROLLO	
		Ing. Básica	Ing. De detalle
1	Diagrama de flujo y /o bloques	Diagrama de flujo	
2	Estudio económico, recursos necesarios y fuentes de financiación		Diagramas lógicos
3	Grado de automatización	Selección de normas a seguir	Diagrama de borneras y resumen de señales
4	Análisis de tecnologías disponibles	Especificación de instrumentos y equipo de control	Típicos de soporte instrumentación.
5	Dimensionamiento del proyecto	Especificaciones de montaje	Detalle cuarto de control
6		Estrategia de control	Listado de materiales

<b>7</b>			Configuración sistema de control
<b>8</b>		Diagrama localización Instrumentos	Especificaciones técnicas para montaje
<b>9</b>		Listado de instrumentos	Especificaciones de las condiciones comerciales
<b>10</b>	Estudio de la mano de obra disponible y requerida	Cotización de instrumentos equipo de control y software	Diagramas de localización y recorrido de señales
<b>11</b>		Cotización de materiales	Actualización de cotizaciones recibidas
<b>12</b>	Evaluación técnico económica de la factibilidad del proyecto.	Cotización de montaje	Evaluación de ofertas

En el capítulo uno, se presenta la descripción del sistema de servicios auxiliares de corriente alterna en una Subestación o planta Hidroeléctrica. Las topologías, la descripción de los dispositivos para protección y control y su aplicación al sistema de servicios auxiliares de Salvajina.

En el capítulo dos, se presentan las estrategias de control, alarmas y comunicación propuesta para los servicios auxiliares de corriente alterna de la Central Hidroeléctrica que incluye: Arquitectura del DCS general, arquitectura de control, alarmas y comunicaciones para los servicios auxiliares.

En el tercer capítulo, se presenta la selección del hardware y software para la automatización del control de los servicios auxiliares de la Central.

## **1 ESTUDIO DEL SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL ACTUAL**

### **Descripción**

En el presente capítulo se pretende mostrar una visión teórica general de lo que son los servicios auxiliares de corriente alterna en una central generadora de energía, sus funciones y los esquemas típicos de conexiones o configuraciones, se indica la fuente de energía principal y la disposición de los equipos de maniobra, estos deben satisfacer ciertas necesidades y normas como son la seguridad del servicio y la facilidad de maniobra.

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Los equipos de servicios auxiliares accionados eléctricamente utilizan de una manera casi general motores de corriente alterna en lugar de corriente continua, a causa de su mayor simplicidad y seguridad y debido también al menor costo de estos y del sistema de alimentación.

La disposición de las barras, interruptores y equipos para la alimentación de los servicios auxiliares de una central o una subestación tiene que ser estudiadas con miras a la seguridad, simplicidad y bajo costo.

Al proyectar un sistema de esta clase, se deben tener en cuenta los siguientes factores: Potencia y naturaleza de la central y su modo de operación, las fuentes

de energía eléctrica disponible y la importancia de los equipos dobles o de reserva que se prevén para los servicios auxiliares esenciales y no esenciales.

Las principales fuentes de energía alterna que se emplean generalmente en las Centrales Eléctricas son:

- Barras principales de la central, haciendo uso de transformadores de servicio interno, con relación de transformación 13.800/440/220 voltios por ejemplo.
- Turbinas para servicio interno.(Plantas térmicas)
- Generadores accionados por los mismos ejes de los generadores principales.
- Arrollamientos especiales en los generadores principales.
- Transformadores conectados a los terminales de los generadores.
- Grupos motor-generator y convertidores rotativos, con una batería de acumuladores de reserva.
- Alimentación directa desde otra central.



- **PERTINENCIA DE UTILIZACION DE LAS NORMAS**

El diseño eléctrico de una central o subestación abarca todos sus equipos y tiene por finalidad indicar la forma como se conectan y operan los dispositivos que conforman los sistemas de protección, control y medida, y su interacción con los equipos de maniobra y desconexión.

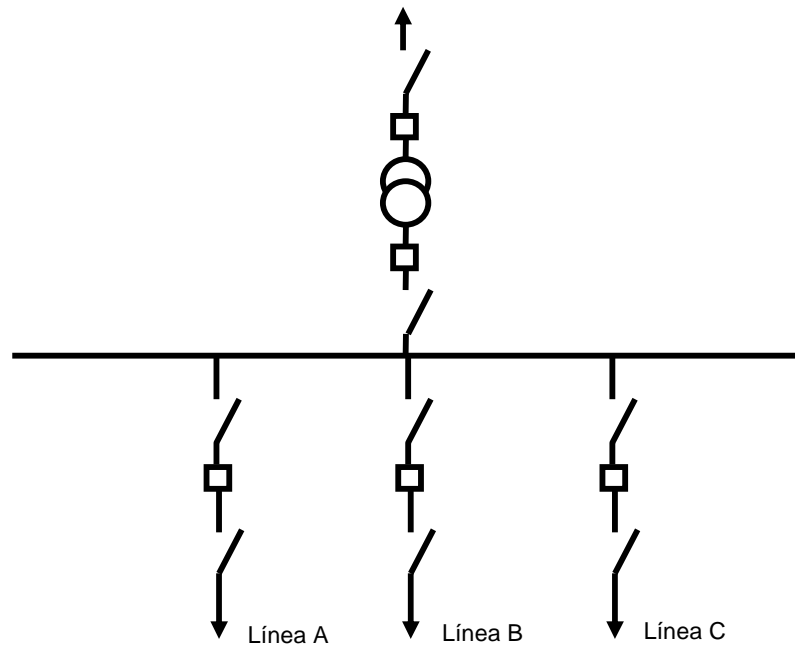
Los diagramas eléctricos se elaboran de tal forma que ilustren claramente la ingeniería de diseño y que faciliten también una rápida comprensión por parte del personal en las labores de instalación, operación y mantenimiento.

Para la elaboración de un diagrama unifilar desarrollado se siguen ciertas pautas que permiten obtener una presentación final clara, la cual facilita a la vez entender el funcionamiento de los equipos. La presentación tanto de los equipos de patio como de los equipos de medida, señalización y control, deben estar de acuerdo a unas convenciones y simbologías definidas.

En el anexo A y B del presente proyecto se encuentra la simbología ANSI/IEC y sus definiciones, también las recomendaciones de las normas de construcción de centros de control de motores, tableros de baja tensión y el uso de autómatas programables, objeto de este estudio.

En la figura 1, se muestra un diagrama unifilar simple de una línea de baja tensión siguiendo convenciones ANSI/IEC.

Figura 1. Diagrama unifilar simple



## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES DE AC PARA UNA SUBESTACIÓN O UNA HIDROELÉCTRICA.

Los servicios auxiliares comprenden un conjunto de equipos utilizados para dirigir el flujo de energía en un sistema de potencia y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección y para redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternas o durante contingencias.

Están asociados con una central generadora, controlando directamente el flujo de potencia al sistema, con transformadores de potencia convirtiendo la tensión de

suministro a niveles más altos o más bajos, o puede conectar diferentes rutas de flujo al mismo nivel de tensión.

Básicamente consisten en un número de circuitos de entrada y salida conectados a un sistema común de barraje, siendo el interruptor el principal componente de un circuito y complementándose con los transformadores de instrumentación, seccionadores y pararrayos, estos elementos están contenidos en unos tableros con una tensión de trabajo no mayor a 1000 voltios en corriente alterna.

Los valores de tensión nominal para tableros de servicios auxiliares son los siguientes:

- 120 V.
- 240 V.
- 480 V.
- 550 V.

Los valores de corrientes nominales para los tableros de baja tensión son los siguientes:

- 600 A.
- 1200 A.
- 2000 A.
- 3000 A.
- 4000 A.
- 5000 A.

El interruptor es definido como un dispositivo capaz de interrumpir, establecer y llevar las corrientes normales o nominales del circuito y las anormales o de cortocircuito. El interruptor es por lo tanto un dispositivo de maniobra que por un lado controla el flujo de energía entrando o sacando del servicio circuitos para poder llevar a cabo mantenimientos, por otro lado el interruptor hace parte del esquema de protecciones que automáticamente desconecta cualquier parte del sistema donde haya ocurrido una falla.

Los transformadores de instrumentación son dispositivos de monitoreo que sensan, por medio de un acople capacitivo o inductivo, el cambio de estado de los parámetros del sistema, generalmente tensión y corriente. Asociados a estos y como parte del esquema de protecciones, existe un sistema de relés de protección que responden al cambio de estado y energizan el dispositivo de disparo del interruptor, ocasionando su apertura.

Por otro lado están los seccionadores que aíslan los interruptores, porciones de los circuitos para mantenimiento. En algunas ocasiones son también utilizados para seleccionar la forma de conectar los circuitos a los barrajes. Los seccionadores solo pueden ser operados durante condiciones especiales, ya que no tienen la capacidad de interrumpir o establecer corrientes.

Los pararrayos son dispositivos para la protección del sistema de potencia y sus componentes de las sobré tensiones, ya sea por descargas atmosféricas, maniobras en el sistema o durante fallas o cortocircuitos.

A continuación se presenta una lista de los equipos más importantes usados en una Central:

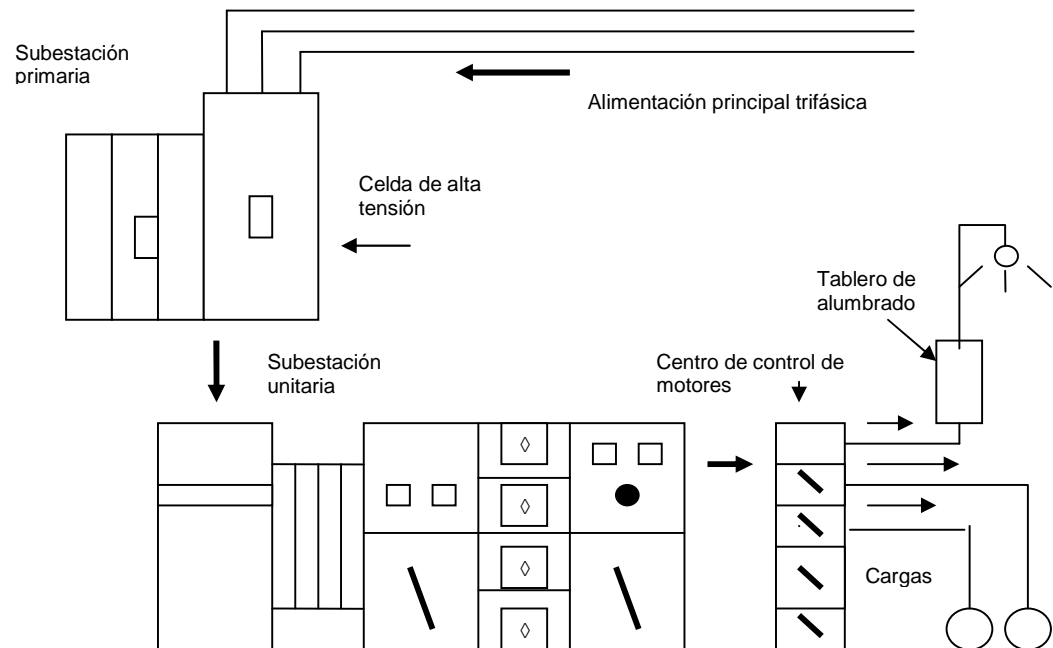
- Puente grúa para compuertas
- Malacates o elevadores
- Compresores de aceite para regulador de turbina
- Compresores de aire para interruptores
- Válvulas motoroperadas
- Grupos de ventiladores para transformadores
- Bombas de agua para refrigeración
- Bombas para drenaje

También el edificio requiere ciertos servicios muy necesarios o aún indispensables, entre los cuales se encuentran.

- Alumbrado general
- Grúa de montaje en sala de máquinas
- Bombas del sistema contra incendio
- Taller mecánico y eléctrico
- Ascensor
- Equipos de comunicaciones

Para aplicaciones de los servicios eléctricos es necesario el uso de subestaciones eléctricas, principalmente del tipo reductor, para reducir los niveles de tensión de la transmisión o subtransmisión a los de distribución interna o de utilización. Existen variantes instructivas de acuerdo al tipo de instalación, espacio disponible y tamaño del sistema, una visión general para este sistema se muestra a continuación. Figura 2.

Figura 2. Sistema de distribución de potencia eléctrica



### 1.3 ESQUEMAS DE CONEXION PARA SERVICIOS AUXILIARES DE CORRIENTE ALTERNA.

Para alimentar todos los servicios auxiliares es necesario tomar la energía de algún sitio, indudablemente, y transformarla a la tensión adecuada. La salida para los equipos auxiliares y servicios puede ser como una línea o varias líneas, pero con privilegios sobre otras líneas porque no pueden ser cortadas sin provocar una interrupción general.

Los esquemas de las conexiones para los servicios auxiliares deben estudiarse de igual modo que una configuración eléctrica de alta potencia y voltaje. Se debe indicar la fuente de energía y la disposición de los equipos de maniobra que satisfagan las necesidades de la planta, en cuanto a seguridad, servicio continuo y facilidad de operación.

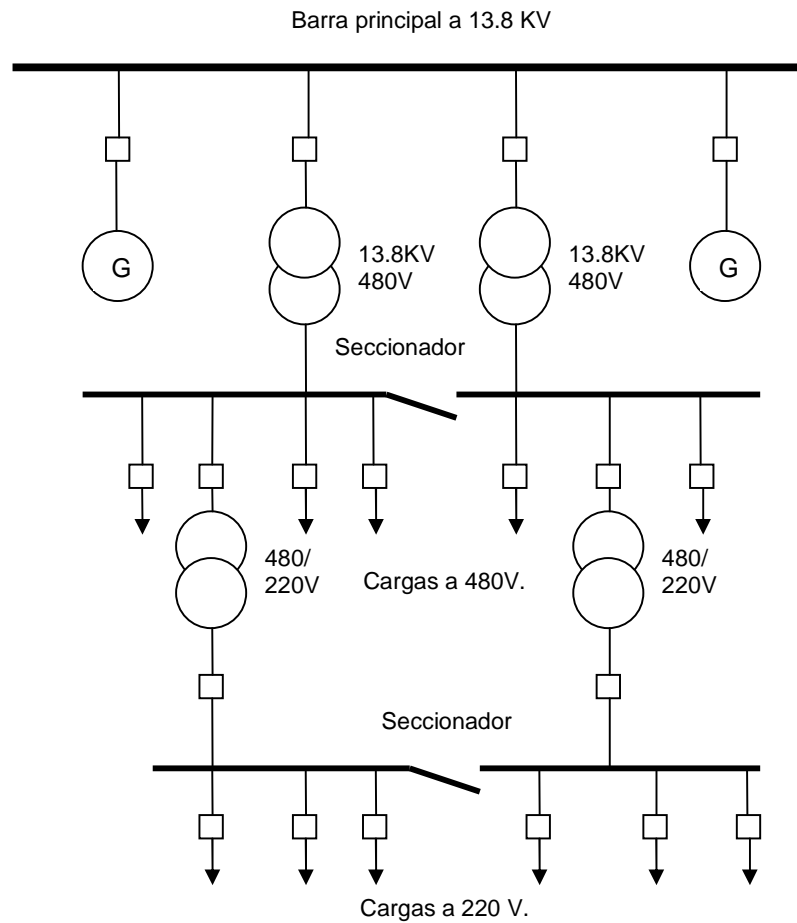
A continuación se presentan esquemas típicos unifilares sobre las disposiciones de conexión de los servicios auxiliares de corriente alterna en las centrales:

- **Energía auxiliar suministrada desde las barras principales**

Como puede verse en la figura 3, a través de un transformador tridevanado 13.8Kv/480V/220V, son alimentadas las barras de servicios auxiliares de las cuales se derivan las líneas que alimentan los equipos (alumbrado, fuerza, ventilación, bombas, etc.).

En este sistema de alimentación el costo de mantenimiento y funcionamiento es bajo pero el servicio esta sujeto a interrupciones en caso de perturbaciones en el sistema. Sin embargo el método es satisfactorio si se conecta a barras principales en forma seccionada.

Figura 3. Barra de servicios auxiliares alimentada desde el barraje principal



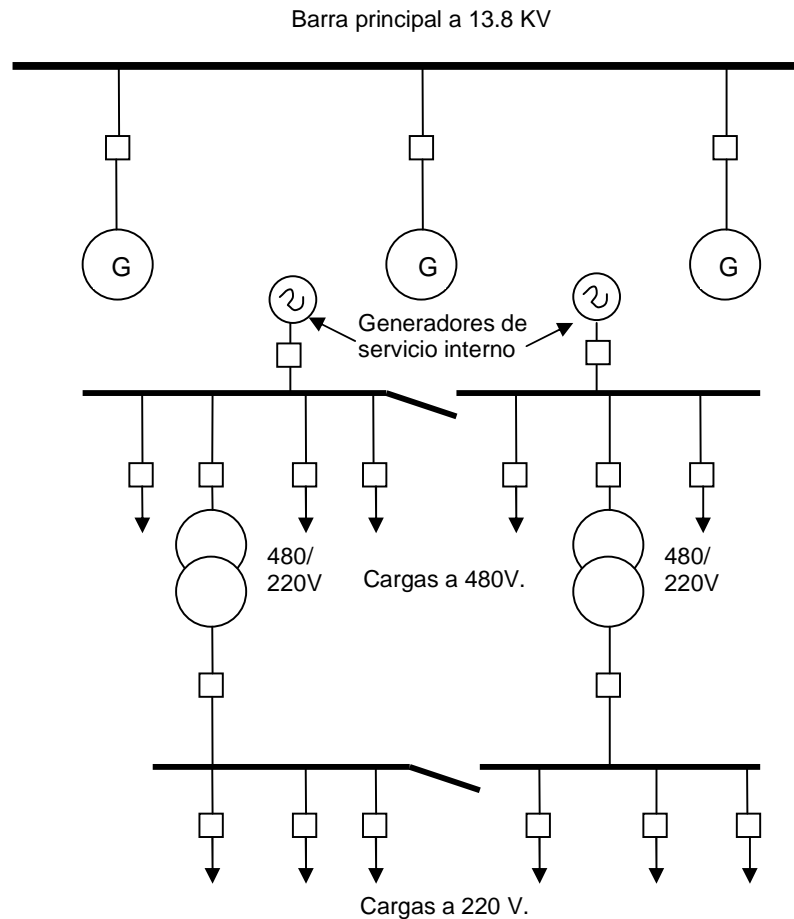
Fuente: RAMIREZ VAZQUEZ, D. José. Enciclopedia CEAC de electricidad. (Centrales Eléctricas) 7 ed. España: Gersa, 1994. p. 760



- **Energía auxiliar suministrada por medio de turbogeneradores de servicio interno**

Se muestra en la figura 4, este sistema solo es aplicado en centrales térmicas. El suministro no es afectado por perturbaciones del sistema principal, pero es una solución muy costosa, tanto en lo que se refiere al funcionamiento como al mantenimiento.

Figura 4. Energía auxiliar suministrada por medio de turbogeneradores

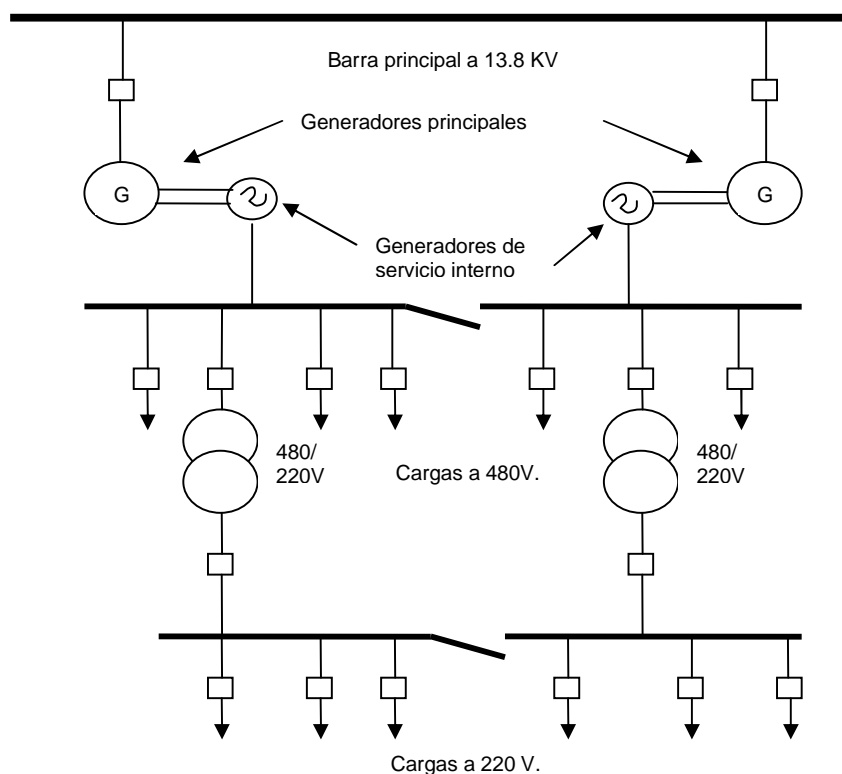


Fuente: RAMIREZ VAZQUEZ, D. José. Enciclopedia CEAC de electricidad. (Centrales Eléctricas) 7 ed. España: Gersa, 1994. p. 761

- **Energía auxiliar suministrada por un generador acoplado al mismo eje del generador principal**

En esta disposición el suministro de energía para los equipos de servicios auxiliares no se ve afectado por perturbaciones del sistema principal y es económico y seguro. Adolece de desventajas mecánicas en la construcción de las unidades, necesitándose instalar reguladores automáticos de tensión para los generadores auxiliares. La puesta fuera de servicio de los generadores principales ocasiona, naturalmente, la indisponibilidad de los generadores auxiliares.

Figura 5. Energía auxiliar suministrada por un generador auxiliar acoplado al eje del generador principal



Fuente: RAMIREZ VAZQUEZ, D. José. Enciclopedia CEAC de electricidad. (Centrales Eléctricas) 7 ed. España: Gersa, 1994. p. 762

- **Energía auxiliar suministrada por un por un transformador conectado a los terminales de los generadores**

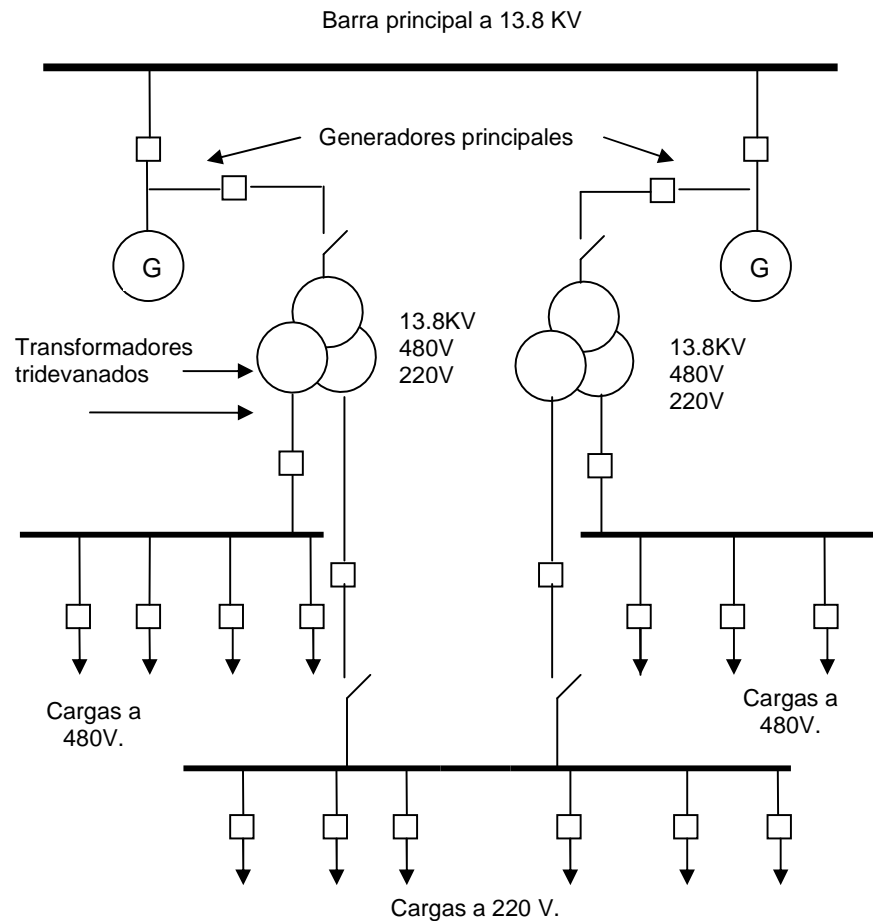
Los costos de funcionamiento y mantenimiento son bajos. Las perturbaciones en el sistema pueden ser reflejadas en los circuitos auxiliares, pudiendo este suministro estar sujeto a interrupciones tales como la causada por un disparo de la unidad generadora.

Las disposiciones para el suministro de energía de los servicios auxiliares indicados en las figuras anteriores, son consideradas para pequeñas plantas generadoras en las que la continuidad del servicio puede no ser esencial. Con las disposiciones indicadas es necesario prever alguna otra fuente para la puesta en marcha de la central cuando las unidades generadoras están completamente apagadas.

Para centrales de gran potencia, no obstante, se usa una combinación de distintos métodos de suministro. La disposición de las barras de servicios auxiliares y los equipos de maniobra pueden ser idénticos a cualquiera de los esquemas anteriores.

Las barras de servicios auxiliares seccionadas, conectadas por medio de transformadores desde el barraje principal, también seccionadas, reducen a un mínimo las posibilidades de interrupción de los servicios auxiliares y pueden adaptarse bien al sistema principal de tensión o a las unidades generadoras en forma independiente. Figura 6.

Figura 6. Barra de servicios auxiliares alimentada por transformadores conectados a los terminales de salida de los generadores principales



Fuente: RAMIREZ VAZQUEZ, D. José. Enciclopedia CEAC de electricidad. (Centrales Eléctricas) 7 ed. España: Gersa, 1994. p. 763

- **Energía auxiliar suministrada por 2 fuentes eléctricamente independientes.**

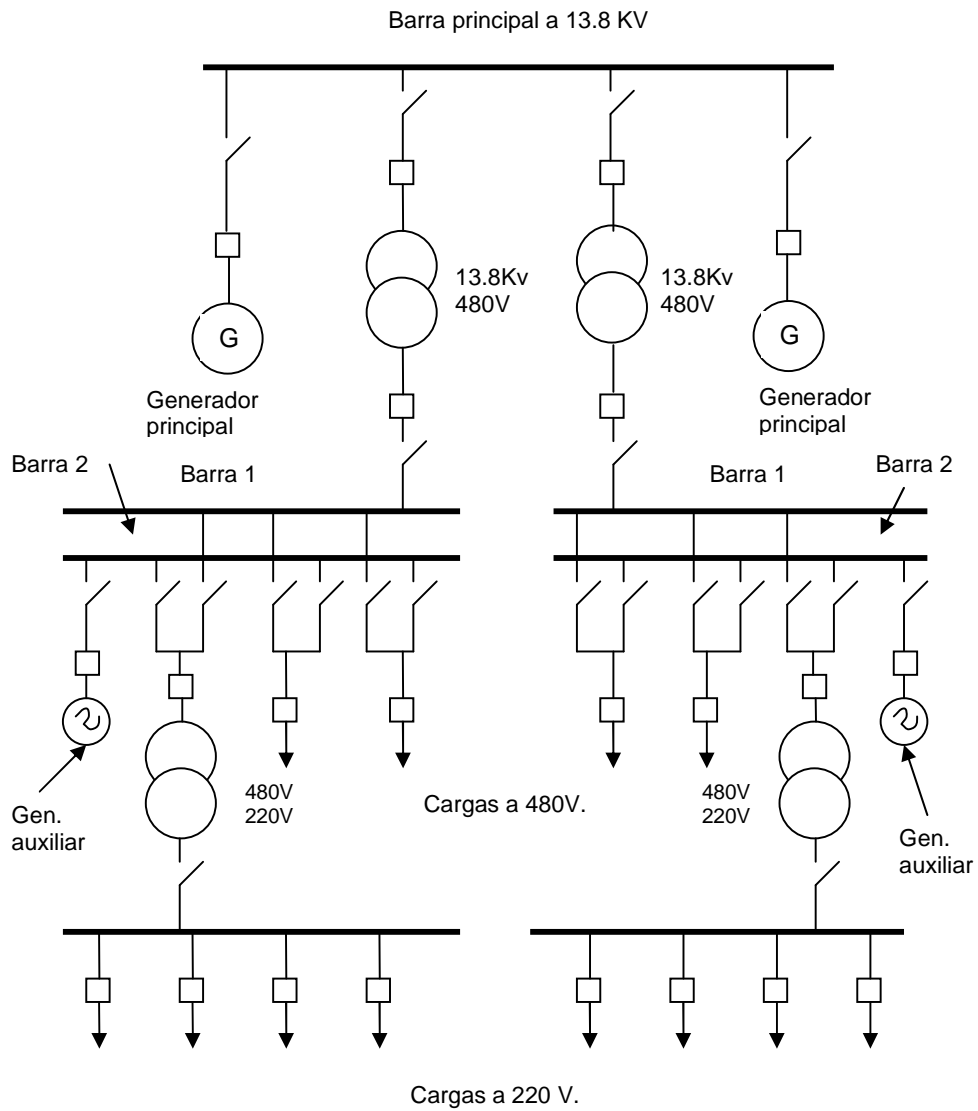
Se muestra en la figura 7. Con esta disposición, las barras funcionan generalmente por separado, la carga de los motores se distribuye de tal manera que la indisponibilidad de cualquiera de los dos juegos de barras no afecte el funcionamiento normal y continuo de los equipos conectados.

Con uno o dos generadores destinados exclusivamente para alimentar uno de los dos juegos de barras de servicios auxiliares, desaparecen las dificultades y problemas derivados de la alimentación principal. Se supone naturalmente, que los generadores de servicio interno tienen sus auxiliares impulsados por medios que no requieren corrientes de servicio suministradas por la planta y que son independientes de las turbinas principales.

Este tipo de arreglo requiere un diseño muy cuidadoso, y por lo general que sea totalmente automatizado para no incurrir en posibles errores de operación al manipular los interruptores cuando se quieran entrar o sacar cargas de servicio.

Dada la corta capacidad de estos generadores, su costo resulta muy elevado, pero la confiabilidad es prácticamente inmejorable.

Figura 7. Energía auxiliar suministrada por 2 fuentes eléctricamente independientes



Fuente: RAMIREZ VAZQUEZ, D. José. Enciclopedia CEAC de electricidad. (Centrales Eléctricas) 7 ed. España: Gersa, 1994. p. 764

- **Energía auxiliar suministrada por dos fuentes en paralelo.**

Tal como vemos en la figura 8, en este caso, los servicios auxiliares esenciales se conectan normalmente a las barras del turbogenerador de servicio interno, mientras que la carga no esencial se alimenta desde las barras del transformador.

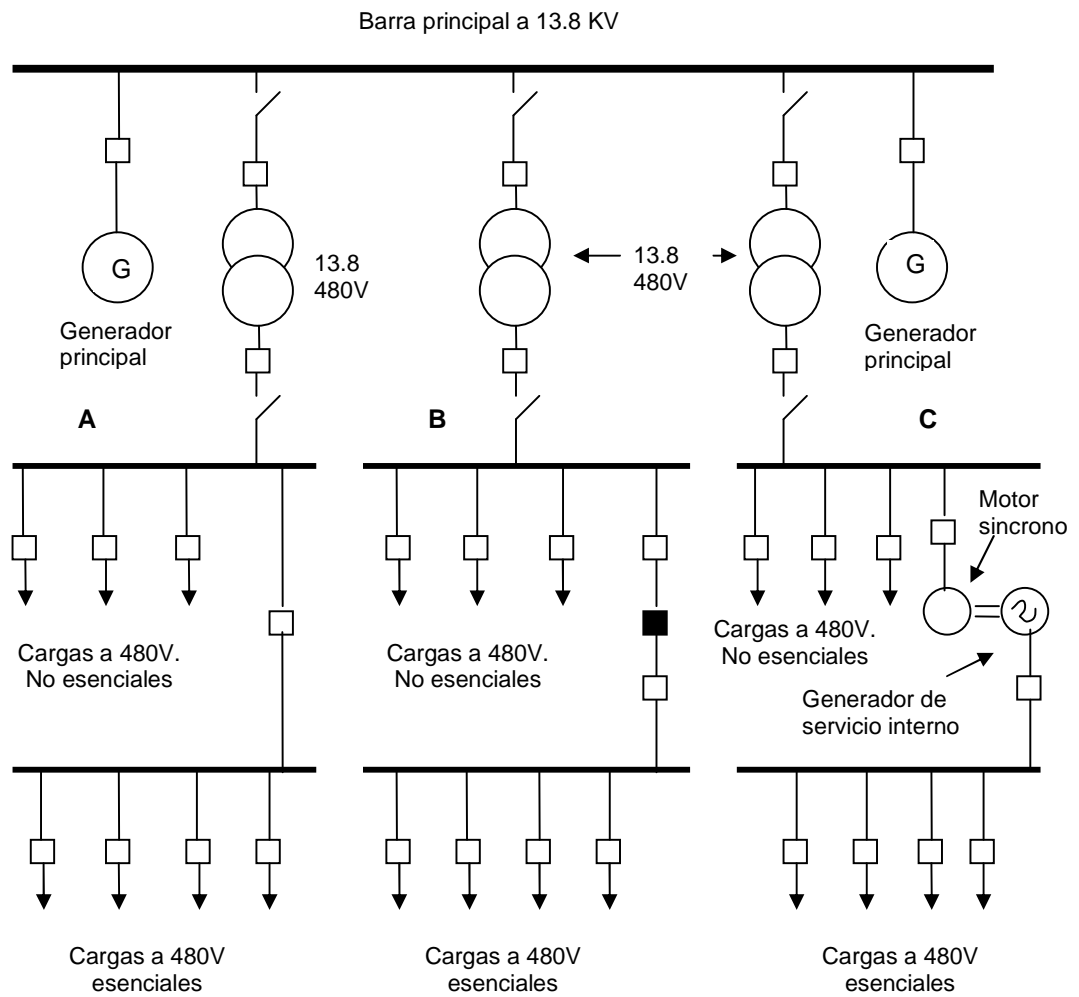
Los dos juegos de barras pueden estar interconectados según los siguientes métodos:

A y B indican acoplamiento directo de barras sin reactancia y con reactancia respectivamente.

C indica Interconexión de barras por medio de un grupo motor de inducción acoplado a un generador sincrónico.

Es un sistema costoso y requiere de un cuidadoso estudio de cargas, para que trabaje óptimamente.

Figura 8. Energía auxiliar suministrada por dos fuentes en paralelo



Fuente: RAMIREZ VAZQUEZ, D. José. Enciclopedia CEAC de electricidad. (Centrales Eléctricas) 7 ed. España: Gersa, 1994. p. 765



#### **1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PARA PROTECCIÓN Y CONTROL DE SERVICIOS AUXILIARES PARA CORRIENTE ALTERNA.**

Los equipos de protección y control, así como los instrumentos de medición por lo general se instalan en tableros eléctricos. Estos equipos e instrumentos se ubican tomando como referencia una serie de planos y dibujos donde se muestra la interconexión del equipo y el arreglo y disposición del mismo, la mayoría de los trabajos en tableros eléctricos se inicia con el diagrama unifilar, pero el conjunto de planos debe contener lo siguiente:

- Diagrama unifilar
- Diagrama de control
- Diagrama de interconexión

Los centros de control de motores están destinados al control y a la protección de los motores, por lo tanto, comprenden los aparatos relacionados con la operación coordinada de maniobra y protección y aquellos auxiliares de control y señalización. Cada motor tiene asignada una unidad o caja del centro de control, de modo que sea posible intervenir con seguridad sobre una sola unidad de salida sin cortar la alimentación de los otros usuarios.

El objetivo de un sistema de protección y control consiste en reducir la influencia de una falla en el sistema, hasta tal punto que no se produzcan daños relativamente importantes en él, ni tampoco ponga en peligro seres humanos o animales. Esto se consigue cubriendo de una manera ininterrumpida los sistemas de potencia mediante el uso de esquemas de protección y relés diseñados para tal fin.

La función de los relés de protección es causar la pronta restauración del servicio cuando algún elemento del sistema sufre un cortocircuito o cuando empieza a operar de manera anormal en forma que se pueda causar daño o interferencia en la operación efectiva del resto del sistema.

Las protecciones trabajan en asocio con los interruptores los cuales desconectan el equipó luego de la orden del relé, para minimizar los efectos que puedan originarse por las fallas. Una función secundaria de los relés de protección es proveer indicación de la localización y tipo de falla.

Los relés de protección se realizan, o con la ayuda de sistemas mecánicos o bien con sistemas de medida estáticos. Las características de los relés estáticos son: Poco consumo de energía, rapidez de respuesta, concepción compacta, posibilidad de realizar medidas especiales, etc. El sistema de construcción con elementos normalizados asegura una gran flexibilidad de empleo y garantiza una seguridad y una confiabilidad al menos equivalente a la de los relés electromecánicos. Pueden disponerse con entradas separadas galvanicamente una de otras y transformadores de entrada provistos con blindaje entre sus enrollamientos primario y secundario para evitar interferencias electromagnéticas, las salidas están provistas con relés mecánicos, lo que permite efectuar conexiones con los circuitos de mando y señalización sin ningún problema.

La protección principal ANSI/IEC comúnmente utilizada para interruptores y centros de control de motores se puede ver en la tabla 2.

Tabla 2. Funciones de protección y el símbolo ANSI/IEC

<b>FUNCION</b>	<b>SIMBOLO ANSI/IEC</b>
Protección diferencial	(87T).
Protección de sobre corriente	(50/51N).
Protección térmica	(49)
Sensor de tensión	(84)
Bajo voltaje	(27)
Sobrevoltaje	(91)

Los instrumentos indicadores generalmente son del tipo galvanométrico que indican en todo momento el valor instantáneo, eficaz o promedio de una cantidad medida, estas cantidades son generalmente corriente, tensión, potencia activa y reactiva y frecuencia. Los instrumentos indicadores deben cumplir los requerimientos de las normas IEC 51 y 258.

Para el control manual de los interruptores se utilizan los suiches de mando ubicados en cada tablero respectivamente. Existen dos tipos básicos de suiches de mando. Los primeros son los de discrepancia, los cuales requieren dos acciones para producir la orden, generalmente pulsar y girar. El otro tipo tiene una posición central nula y para dar la orden de abrir o cerrar el equipo se giran ya sea a la derecha o a la izquierda, cuentan además con indicación luminosa.

Se instalan también contadores de energía para verificación de consumo de los diferentes equipos instalados en la planta.

## **1.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SALVAJINA.**

Los servicios auxiliares generales de corriente alterna cumplen una función importante dentro del sistema operativo de la central, ya que son los encargados de proveer la alimentación necesaria para el correcto funcionamiento de la variedad de equipos y dispositivos que se encuentran instalados dentro de la planta.

Actualmente los servicios auxiliares de corriente alterna para la Central pueden obtenerse desde las barras de 13.8Kv de los generadores 1 ó 2 y desde la subestación encapsulada a través del transformador tridevanado de 220Kv/34.5Kv/13.8Kv., existe un transformador de suplencia de 34.5Kv/13.8Kv., que puede ser alimentado por la línea de 34.5Kv interconectada con el municipio de Jamundi (Valle).

La fuente de energía seleccionada depende de cómo se este operando la central. Para casos de emergencia o de un arranque en cero de la planta, se cuenta con una planta Diesel de 760KW, esta planta suministra tensión de 480 voltios, alimentando el barraje B, aquí se encuentran conectados los servicios básicos para encender una unidad.

El sistema de servicios auxiliares de potencia esta diseñado para operar de varias formas, con el fin de asegurar una adecuada alimentación para el funcionamiento de la central durante épocas de mantenimiento, durante fallas o durante la operación normal de la planta.

Cuando La Central se quede sin energía eléctrica, esto es, todas las unidades paradas y las líneas de Pance y Juanchito fuera de servicio, la planta Diesel de emergencia puede suministrar energía para:

- Iluminación de emergencia de Casa de Máquinas.
- Un compresor de aire para el gobernador de velocidad.
- Una bomba de aceite.
- Una bomba de refrigeración.
- Una bomba de drenaje.
- Un cargador de baterías.
- Un centro de control de motores con el objeto de ejecutar el arranque de una unidad, llevarla a barras de 220 KV y restablecer los servicios auxiliares de potencia en su totalidad

En el caso de que las 3 unidades estén paradas, las barras de 220Kv pueden ser energizadas a través de las líneas de Pance o Juanchito, y así por el lado del transformador tridevanado y su salida de 13.8Kv a su respectiva celda blindada de 13.8Kv.

Las unidades funcionando correctamente, cada una supe sus propios servicios auxiliares a través de su propio centro de control de motores de unidad, y cualquiera de las unidades 1 ó 2 supe a través del barraje A, toda la energía necesaria para operar los demás equipos de la central.

Figura 9. Servicios auxiliares Hidroeléctrica Salvajina



Cortesía: EPSA E.S.P.

Los modos de operación o secuencias de operación se pueden seleccionar desde los tableros ubicados en la sala de control.

Los servicios auxiliares de La Central Hidroeléctrica de Salvajina operan a 480 voltios AC y son alimentados por 4 fuentes de energía principal y una de emergencia como se describen a continuación. En la figura 10 se muestra el diagrama unifilar de los servicios auxiliares de la central.

### **Servicios auxiliares barra A**

- De generador 1 (a través de transformador de 1500KVA 13.8Kv/480v)
- De generador 2 (a través de transformador de 1500KVA 13.8Kv/480v)
- De transformador tridevanado lado de 13.8 Kv (220/34.5/13.8 Kv.)
- De transformador de suplencia 750KVA línea 34.5 Kv Jamundi.

### **Servicios auxiliares barra B**

- Planta Diesel de Emergencia

El sistema compuesto por el barraje A y el barraje B cubre los servicios eléctricos de potencia que requieren los equipos asociados a las unidades generadoras y el edificio en general. El voltaje de fuente es de 13.800 voltios.

Las barras A y B están unidas por el interruptor 52UB1 que debe operar ante un evento de disparo de las unidades o del sistema interconectado nacional y poder así conectar la planta Diesel. El barraje A tiene un seccionador manual 89UB2 que se opera con fines de mantenimiento.

Los tableros de servicios auxiliares se denominan GAS A y GAS B (General Auxiliar Services), tablero de servicios generales. Se complementan con un tablero denominado “Celdas Blindadas”, este recibe la tensión de 13.8Kv proveniente del transformador tridevanado ubicado en la subestación de la Hidroeléctrica.

**DIAGRAMA UNIFILAR SERVICIOS AUXILIARES**

VIENE DE BARRAJE

230 Kv

13.8 Kv

34.5 Kv

L210

L219

DE TRAF. TRIDEVANADO

Y5

Y05

CELDAS BLINDADAS

Y25 PRESA

Y15 SUPLENIA LINEA 34.5KV

Y35

1500Kva

750Kva

TRAF. DE RESERVA

52D

Plan. diesel

Unidad 2

Unidad 1

1500Kva 13.8kv/480v

1500Kva 13.8kv/480v

52 G2

52 G1

52UB1

52AG3

52AG2

52AG1

ACCUM3

ACCUM2

ACCUM1

52AU3

13.8KV/480

225Kva

Viene generador unidad 3

52AU2

13.8KV/480

225Kva

Viene generador unidad 2

52AU1

13.8KV/480

225Kva

Viene generador unidad 1

ARRAJE SERVICIOS AUX.

A CCM unidades emergencia

Va hacia Y Viene de Jamundi 34.5 Kv

48



Los servicios auxiliares están conformados por un tablero de mando en la sala de control, allí se encuentran los siguientes dispositivos:

- Perilla selectora para operación manual y automática de los interruptores.
- Una perilla 43 lead (adelanto) para seleccionar generador 1 ó 2 como fuente primaria.
- Una selección 43 follow (seguidor) para seleccionar G1/G2 ó transformador tridevanado como fuente externa.
- Arranque manual ó automático para la planta de emergencia en caso de que la central se quede totalmente sin energía eléctrica.

El modo automático de operación de los servicios auxiliares de energía eléctrica, se considera el modo de operación normal de la central, este sistema requiere un mínimo de atención por parte del personal de operación y se suprimen los posibles errores operativos.

Para la operación manual de los servicios auxiliares pueden obtenerse desde las barras de 13.8 Kv de los generadores 1 ó 2 y desde la subestación encapsulada de 220Kv. a través del transformador tridevanado, la fuente de energía seleccionada depende de cómo se este operando la central.

La operación de los interruptores para energizar las barras A o B puede ser ejecutada en forma manual mecánica en el respectivo interruptor y en forma manual eléctrica desde el tablero principal en sala de control, para la operación manual eléctrica, el voltaje en barras de 13.8 Kv debe haber sido previamente reestablecido, esto es, si no hay voltaje trifásico los interruptores no operan para cerrar.

El comando se realiza sobre la apertura y cierre de los interruptores 52G1, 52G2 y 52A (Figura 11) según el seleccionado previamente por una perilla. En caso de emergencia se controlan los interruptores 52D y 52UB1.

Figura 11. Interruptor de potencia



Cortesía: EPSA E.S.P.

Existe la operación manual local desde los cubículos de los interruptores en caso de que remotamente no opere el sistema o para maniobras de mantenimiento.

La condición de operación normal de los tableros de servicios auxiliares a 480 voltios barra A y barra B, es la de tener tres secciones de barras conectadas, esto es, interruptor de enlace 52UB1 y el seccionador 89UB2 cerrados. Cuando se

requiere hacer mantenimiento al sistema de barras puede seccionarse y la sección requerida puede aterrizarse para mantenimiento.

Figura 12. Control de relés para un interruptor de potencia



Cortesía: EPSA E.S.P.

Para la operación del sistema de emergencia, el interruptor de unión de barras 52UB1 debe abrirse para poder encender la planta Diesel. Cuando el voltaje y la frecuencia están en su valor nominal 480 voltios y 60 hertz, se cierra el interruptor 52D. Los relés 50/51, 50N, actuaran como protección de sobré corriente para proteger el generador de la planta Diesel y actúan directamente sobre el interruptor 52D.

A continuación se presenta el manejo de los interruptores de servicios auxiliares llevados a cabo por un operario de la central. Tabla 3.

Tabla 3. Hoja de ruta para el cambio de los servicios auxiliares en la actualidad

ITEM		DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	DURACION Min.	N
OPERACION	SUB-OPERACION	Cuando se vaya a realizar cambio de servicios auxiliares automáticamente, proceder de la siguiente manera:		
		<b>AUTOMATICO:</b>		
0010		<b>Caso 1:</b> Si los servicios auxiliares están a través del 52G1 ó 52G2 y se quiere pasar al 52A		
	0011	Colocar selección de control en auto(43GAS)	1	1
	0012	Selección de reserva en TRANS. (43FLW)	1	1
	0013	Selección principal en fuera (43LEAD)	1	1
	0014	Automáticamente se hace transferencia de servicios auxiliares 52G1 ó 52G2 a 52A dependiendo de la selección que tenga		
0020		<b>Caso 2:</b> Cuando se tenga servicios auxiliares a través del 52A y se vayan a transferir al 52G1 ó 52G2		
	0021	Colocar selección de control en auto(43GAS)	1	1
	0022	Colocar selección de reserva (43FLW) en G1/G2	1	1
	0023	Colocar selección principal (43LEAD) en G1 ó G2 dependiendo si se toman por unidad 1 ó 2	1	1
0030		<b>Caso 3:</b> Cuando se tengan servicios auxiliares a través del 52G1 ó 52G2 y ocurre algún disparo y los selectores se encuentren en las siguientes selecciones:		
	0031	Selección principal (43LEAD) en G1	1	1
	0032	Selección de reserva(43FLW) en G1/G2	1	1
	0033	Selección de control en auto (43GAS)	1	1
	0034	Automáticamente entra 52G2 después de verificar ausencia de tensión en 52G1		

0040		<b>MANUAL</b>		
	0041	<b>Caso 4:</b> Cuando se desee cambiar de servicios auxiliares		
	0042	Se coloca selector (43GAS) en manual	1	1
	0043	Se abre el interruptor que esta cerrado y se cierra por el que se desee tener los servicios, maniobrando las perillas tipo DCS ubicadas en sala de control	1	1
	0044	<b>NOTA:</b> El selector 43GAS debe permanecer siempre en automático ya que si esta en manual, cuando haya un disparo de servicios hay que reestablecerlos en forma local	1	1
	0045	Para poder hacer estas maniobras manuales y automáticas desde sala de control, el selector 43GAS en el cubículo del GAS B debe estar en REMOTO		

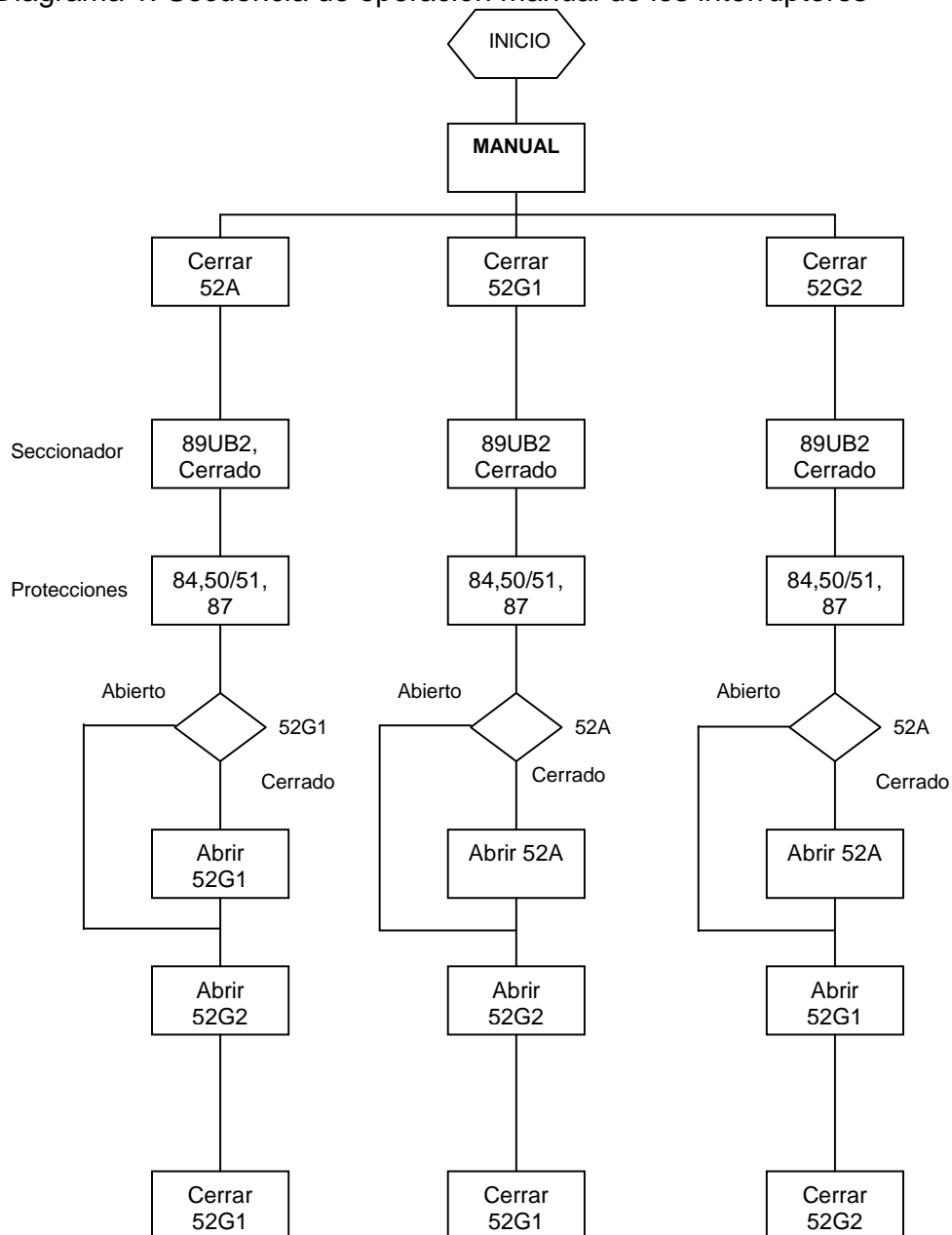
#### **Explicación de campos:**

N: Número de personas que realizan la actividad.

DURACION: Tiempo en que se realiza la operación descrita.

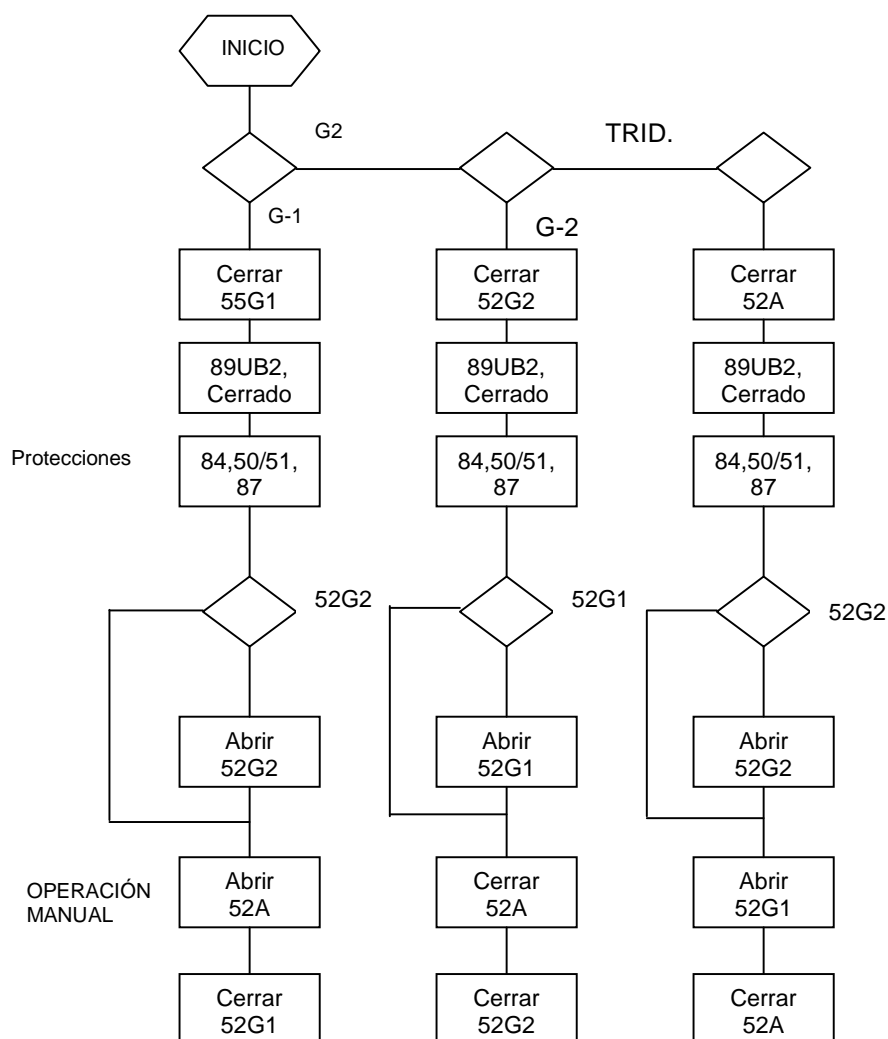
- **ESTRATEGIA DE CONTROL ACTUAL (DIAGRAMA DE FLUJO)**  
**SECUENCIA MANUAL PARA CIERRE DE LOS INTERRUPTORES 52A, 52G1 Y 52G2**

Diagrama 1. Secuencia de operación manual de los interruptores



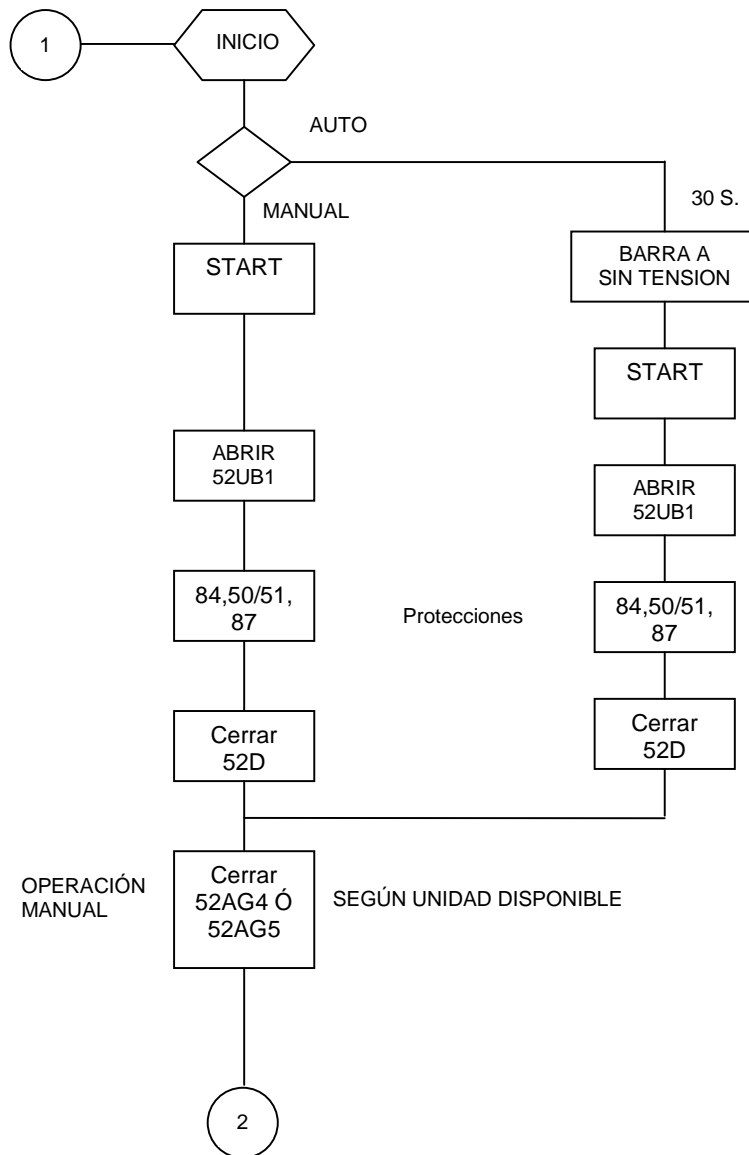
- **SECUENCIA AUTOMATICA PARA CIERRE Y APERTURA DE LOS INTERRUPTORES 52A, 52G1, 52G2, 52UB1, 52D Y ENCENDIDO DE PLANTA DIESEL.**

Diagrama 2. Secuencia automática actual



- PLANTA DIESEL**

Diagrama 3. Secuencia de funcionamiento de la planta Diesel de emergencia





## **1.6 VERIFICACIÓN DE PLANOS Y CONEXIONES ACTUALES**

Se recolectó la siguiente información del control de los Servicios Auxiliares de Corriente Alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina:

- Plano Ingetec volumen IV, circuito 84, servicios auxiliares generales (59 paginas).
- Tablero de distribución de servicios generales Fabricante: Togami Electric Works Co. Ltda Japón
- Tablero de maniobras de 13.8 Kv de unidad Fabricante: Toshiba Corporation Japón
- Manual de funcionamiento del equipo y hoja de ruta para actividades de mantenimiento.
- Conexionado en borneras de: Celda de control interruptores, tablero de control y mando, celdas de cada uno de los interruptores de potencia.

Se realizó la verificación punto a punto de toda la lógica cableada con los planos de control eléctrico existentes en la central, se anotaron nombres de borneras y puntos de conexión. El plano coincide con lo real instalado, se procedió a la respectiva documentación.

Después de realizar los puntos anteriores y con un diagrama de control y potencia actualizado se definió el listado de entradas y salidas para determinar la capacidad del equipo controlador programable (PLC), tal como se especifica en la cotización.

A continuación, en la tabla 4 se especifica el detalle de cada una de las entradas y salidas que se requieren.

Tabla 4. Listado de señales de entrada y salida para el PLC

<b>INVENTARIO DE SEÑALES DIGITALES DEL SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES</b>			
<b>Descripción de la señal</b>	<b>Digital</b>		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Rango señal</b>
<b>SEÑALES INTERRUPTOR 52G1</b>			
Disparo sobrecarga	1		contacto
Sensor de tensión	1		contacto
sobré temperatura	1		contacto
Relé diferencial	1		contacto
Protección sobré corriente 50/51N	1		contacto
Indicación abierto/cerrado interruptor	2		contacto
Bobina de cierre		1	bobina 125 Vcc
Bobina de disparo		1	bobina 125 Vcc
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>SEÑALES INTERRUPTOR 52G2</b>			
Disparo sobrecarga	1		contacto
Sensor de tensión	1		contacto
sobré temperatura	1		contacto
Relé diferencial	1		contacto
Protección sobré corriente 50/51N	1		contacto
Indicación abierto/cerrado interruptor	2		contacto
Bobina de cierre		1	bobina 125 Vcc

Bobina de disparo		1	bobina 125 Vcc
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>SEÑALES INTERRUPTOR 52A</b>			
Posición interruptor Y15	2		contacto
Disparo sobrecarga	1		contacto
Sensor de tensión	1		contacto
sobré temperatura	1		contacto
Relé diferencial	1		contacto
Protección sobré corriente 50/51N	1		contacto
Indicación abierto/cerrado interruptor	2		contacto
Bobina de cierre		1	bobina 125 Vcc
Bobina de disparo		1	bobina 125 Vcc
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>SEÑALES INTERRUPTOR 52UB1</b>			
Disparo sobrecarga	1		contacto
Sensor de tensión	1		contacto
Protección sobré corriente 50/51N	1		contacto
Condición planta Diesel	2		contacto
Indicación abierto/cerrado interruptor	2		contacto
Bobina de cierre		1	bobina 125 Vcc
Bobina de disparo		1	bobina 125 Vcc
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>SEÑALES SECCIONADOR 89UB2</b>			
Sensor de tensión	1		contacto
Indicación abierto/cerrado seccionador	2		contacto
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>OPERACION Y CONTROL</b>			
Local	1		contacto
Remoto	1		contacto
Auto	1		contacto
Manual	1		contacto
Principal generador 1	1		contacto

Principal generador 2	1		contacto
Fuera	1		contacto
Reserva G1/G2	1		contacto
Reserva fuera	1		contacto
Reserva transformador tridevanado	1		contacto
Pilotos anunciación		10	24Vcc
<b>SEÑALES INTERRUPTOR 52D</b>			
Sensor de tensión	1		
Protección sobré corriente 50/51N	1		contacto
Indicación abierto/cerrado interruptor	2		
Bobina de cierre		1	bobina 125 Vcc
Bobina de disparo		1	bobina 125 Vcc
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>OPERACIÓN PLANTA DIESEL</b>			
Auto	1		
Manual	1		
Orden de arranque		1	bobina 125 Vcc
Orden de paro		1	bobina 125 Vcc
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>SEÑALES INTERRUPTOR 52AG1</b>			
Indicación abierto/cerrado interruptor	2		
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>SEÑALES INTERRUPTOR 52AG2</b>			
Indicación abierto/cerrado interruptor	2		
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>SEÑALES INTERRUPTOR 52AG3</b>			
Indicación abierto/cerrado interruptor	2		
Pilotos anunciación		2	24Vcc
<b>SUB-TOTAL ENTRADAS Y SALIDAS</b>	<b>55</b>	<b>42</b>	
<b>TOTAL ENTRADAS Y SALIDAS 20%</b>	<b>65</b>	<b>50</b>	

## **1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO ANTERIOR**

Los servicios auxiliares de corriente alterna cumplen una función muy importante dentro del sistema operativo de una central o una subestación, ya que son los encargados de suministrar la alimentación necesaria para el funcionamiento óptimo de todos los equipos asociados al sistema de generación, transmisión y distribución, así como de los equipos de maniobra que se encuentran instalados dentro de una central generadora de energía.

El estudio realizado al control los servicios auxiliares de La Central Hidroeléctrica de Salvajina muestra los siguientes aspectos:

- Los interruptores se encuentran en buen estado de apariencia así como de funcionamiento. Tienen protección electrónica incluida la cual se puede habilitar para el nuevo control por PLC.
- Se observa que la gran mayoría de relés presenta deterioro físico debido al calentamiento.
- El sistema de control no es totalmente automático, ya que ante un evento el operador debe realizar varias maniobras para reestablecer los servicios auxiliares nuevamente.
- Existe una alarma general para indicar ausencia de tensión de los servicios auxiliares, pero no indica específicamente que parte del circuito es el que fallo.
- El cableado de los controles esta en buen estado y cumple con las normas técnicas requeridas para este tipo de procesos.
- Todos los elementos están debidamente marquillados, esto facilita el seguimiento de los circuitos según los planos eléctricos.

- Se cuenta con una fuente de alimentación de 125VCC proveniente de 2 bancos de baterías de gran capacidad.
- Las perillas para selección del control automático y manual se deben reemplazar ya que presentan desgaste de sus partes mecánicas.

Siendo los servicios auxiliares un pilar fundamental en el proceso de generación se justifica la implementación de nuevas tecnologías de control. En términos generales lo que se requiere para modernizar el control de los servicios auxiliares de corriente alterna es que el nuevo sistema cuente con unas cualidades como son:

- Facilidad de expansión
- Seguridad
- Disponibilidad
- Flexibilidad
- Simplicidad
- Mantenimiento

En el siguiente capítulo se definen las estrategias de automatización con el fin de ser aplicadas en La Central Hidroeléctrica de Salvajina y principalmente en los servicios auxiliares de corriente alterna objeto de este proyecto.

## **2 ESTRATEGIAS DE CONTROL, ALARMAS Y COMUNICACIÓN PROPUESTAS**

### **Descripción**

En el presente capítulo se describen en general los sistemas de control basados en estrategias desarrolladas con la ayuda de equipos digitales que marcan la pauta en la actualidad. Sus funciones y los esquemas típicos de conexiones y de comunicaciones.

### **2.1 INTRODUCCION**

El desarrollo de nuevas tecnologías y su aplicación es la tendencia que se manifiesta en todos los procesos industriales actualmente y mucho más con el ambiente de globalización y apertura al cambio que se esta dando en nuestro país. Con este propósito se desean alcanzar óptimos niveles de producción, para lo cual surge la necesidad de desarrollar nuevas técnicas que den solución a las deficiencias que se presentan cuando un equipo o sistema llega a su vida útil.

Las funciones que pueden ser automatizadas en un sistema de control se pueden clasificar en dos, así:

- AUTOMATIZACIÓN LOCAL.

Recolección, procesamiento y almacenamiento de datos que antes se ejecutaban manualmente, son ejecutados en la actualidad de una manera más precisa y

confiable, por medio de un sistema automático. Las funciones de la automatización local se pueden resumir de la siguiente manera:

- Registro secuencial de eventos (SOE).
- Oscilogramas (registros) automáticos de fallas.
- Vigilancia de valores medios o nominales.

- AUTOMATIZACIÓN REMOTA.

La operación automática en subestaciones y centrales se basa normalmente en información disponible dentro de la misma planta o subestación, aunque la acción que tomen los dispositivos de control puede ser ordenada o inclusive modificada remotamente.

Algunos conceptos de operación automática se enumeran a continuación:

- Arranque y paro de un generador.
- AGC (Sistema de control automático de generación).
- Recierre automático.
- Seccionalización automática de zonas de falla.
- Conmutación automática de circuitos de respaldo.
- Restauración automática del sistema después de la pérdida de suministro eléctrico.
- Maniobra automática para reducir trabajo de los interruptores.
- Desconexión automática de carga por baja frecuencia.
- Ajuste automático de relés.
- Maniobra secuencial para mantenimiento.



## **2.2 ARQUITECTURA DEL DCS APLICADO A LA INDUSTRIA ELÉCTRICA.**

El sistema de control distribuido (DCS) es un sistema completo para control de procesos con partes como hardware, software y de adquisición de datos. Suministra toda la funcionalidad de un SCADA.

La arquitectura de un DCS se basa en el concepto de la pirámide de automatización o estructuración jerárquica de categorías de control en bloques o sectores de sistemas con funciones específicas.

Dentro de las funciones que debe tener un sistema SCADA (Sistema de Supervisión, Control y adquisición de Datos) en una planta industrial son:

- Implementar las estrategias de control del proceso asegurando que los tiempos de cálculo de los algoritmos digitales sean óptimos: PID, FUZZY, combinatorio, secuencial, estadístico, etc.
- Implementar interfases de operación para monitoreo y mando sobre las variables del proceso, denominadas funciones de estación de operación o HMI (Interfases Hombre Máquina).
- Implementar el nivel físico de comunicación entre el hardware y el software de todos los componentes del sistema productivo.
- Implementar las bases de datos para almacenamiento de históricos de variables, alarmas, avisos y archivos para mantenimiento preventivo y predictivo del sistema en sí.

- Implementar las herramientas para configuración, parametrización y programación del hardware y software para control, monitoreo, mando y enlaces que lo componen. Denominadas estaciones de ingeniería.

La manera de implementar todas estas funciones se puede realizar actualmente utilizando un sistema DDC o uno DCS.

El primero, Direct Digital Control o control por computador, implementa todas las funciones del SCADA en una sola plataforma de hardware y software y comunicaciones por Ethernet.

El segundo, Sistema de Control Distribuido implementa las funciones del SCADA distribuyéndolas por toda la planta en equipos compactos y conectados a nivel del campo por redes industriales seriales, y a nivel de gestión de producción por Ethernet Industrial.

Los sistemas DCS generalmente implementan las funciones SCADA en equipos modulares distribuidos, a continuación, se describe una configuración de Hardware para un sistema SCADA:

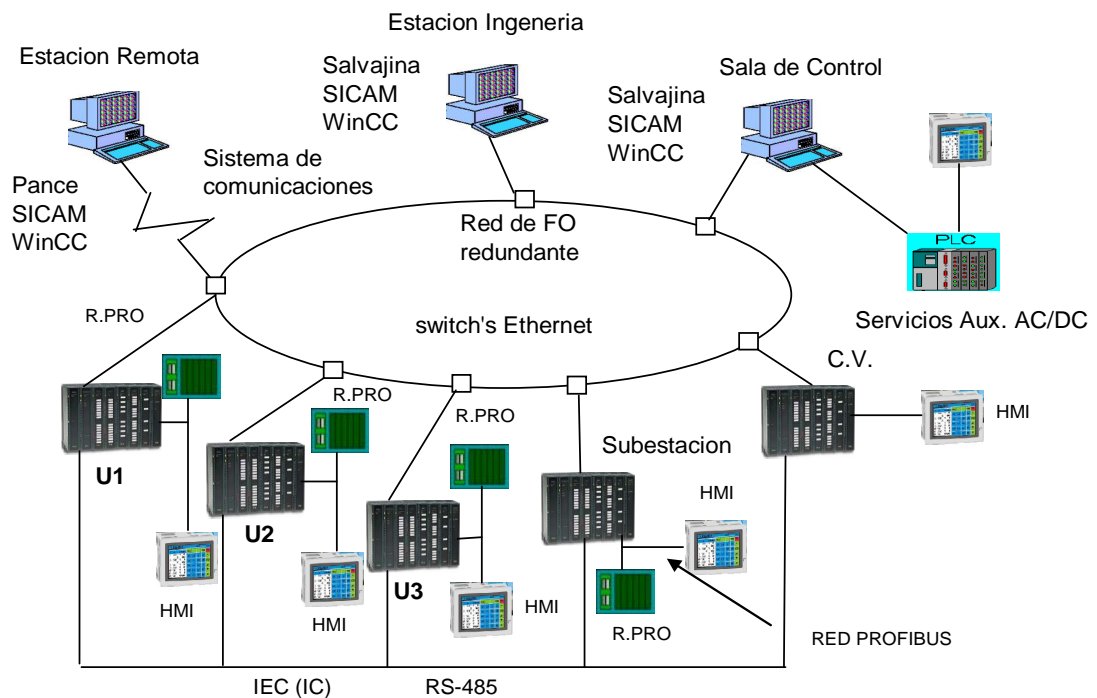
- Las estrategias de control se implementan en PLC's (Controladores lógicos Programables), Controladores parametrizables (Controladores de Lazo o de tipo específico), variadores de velocidad y controladores de posición, sistemas remotos ent. /sal. (Remote I/O) y sistemas de control numérico (NCM).
- Las estaciones de operación o HMI se implementan en paneles de texto, paneles gráficos, paneles "Touch Screen", paneles de teclas y pulsadores y computadores personales basados en sistemas Windows.

- La comunicación entre equipos distribuidos se realiza según el nivel donde se encuentre. En general se pueden dar dos niveles: En el nivel de gestión de producción la comunicación es a nivel de Ethernet (hardware) y Lenguajes gráficos con enlaces OPC (Software). En el nivel de campo y control se utilizan las sub-redes seriales que a su vez se dividen en Buses de Campo (Buses de membresías o asociaciones como Fieldbus, Control Net, Devicenet, Profibus, As interfase, CAN, Hartcom, etc.).
- El nivel de almacenamiento de información de datos hasta 100 KB puede realizarse en los mismos controladores, pero datos mayores se almacenan en bases de datos dedicadas, colocadas en las estaciones de operación e ingeniería.
- Las bases de datos más utilizadas para este propósito son Oracle, DB2, SQL y en menor proporción Visual DBase, Visual FoxPro y Access.
- Los Software de las estaciones de Ingeniería se colocan generalmente en las mismas estaciones de operación sobre PC's de escritorio o PC's portátiles con enlaces y puertos hacia todos los niveles de la planta.

## 2.3 PROPUESTA DE ARQUITECTURA DE CONTROL Y COMUNICACIÓN PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SALVAJINA.

Los sistemas digitales son utilizados para la automatización de centrales generadoras de energía eléctrica. Estos sistemas suelen tener una configuración bien particular por el tipo de proceso que realizan. Un sistema propuesto para la automatización de La Central Hidroeléctrica de Salvajina se muestra en la figura 13.

Figura 13. Estrategia de control y comunicaciones para La Central Hidroeléctrica de Salvajina



El sistema esta basado en la norma IEC 870-5-101. Este sistema se encuentra estandarizado en la empresa, existiendo un desarrollo de este tipo en La Central Hidroeléctrica del Bajo Anchicayá con excelentes resultados hasta la fecha.

En el sistema propuesto se cumplen las tareas de monitoreo, control local y remoto con enclavamientos, conexión con unidades de bahía y unidades de protección y telecomunicación.

En términos generales el sistema de control propuesto para La Hidroeléctrica de Salvajina estaría conformado por:

- Controladores de subestación.
- Controlador para cada unidad generadora.
- Relés de protección de líneas Pance y Juanchito con su respectivo respaldo por cada línea.
- Relés de protección para cada generador.
- Relés de protección de transformadores 13.8Kv/220Kv.
- Controlador para Cámara de Válvulas.
- Controlador de servicios auxiliares AC.
- Controlador de servicios auxiliares DC.
- Interfaz HMI, unidades locales para cada sistema.
- Interfaz grafica en sala de control.

Los enlaces de comunicación a través de fibra óptica mediante protocolo IEC 870-5-103 y enlaces de conexión RS-485.

Dos estaciones de trabajo con sistemas operativos basados en plataformas graficas con su respectivo software de supervisión y control. El subsistema de

base de datos en tiempo real y el control del HMI (interfaz Hombre-Máquina), son el sistema activo, aquí se archivan los datos más inmediatos, de tal forma que pueden ser visualizados en los monitores utilizados por los operadores de la Central, aquí el operador puede interactuar con el sistema a través de los monitores y dispositivos de entrada y salida como son el teclado, el ratón, la impresora, etc.

Se puede constituir una estación de trabajo adicional para desarrollo de ingeniería y entrenamiento de personal que puede servir también como sistema de respaldo, en este subsistema se pueden archivar todas las informaciones obtenidas durante el funcionamiento normal del sistema y durante un cierto período de tiempo. Hace la función de servidor del sistema.

Para guardar la información se pueden crear bases de datos, estas pueden utilizar un administrador dedicado. Por lo regular se usa lenguaje SQL (Oracle, Informix, Sybase, etc.), a través de estos subsistemas se generan los informes históricos del sistema en general. Permiten la creación de archivos de valores análogos, los cuales pueden ser observados en forma tabular o como curvas de tendencia.

Los subsistemas pueden hacer intercambios de datos con otros sistemas de nivel jerárquico superior (Centro Regional de Despacho), por ejemplo.

## **2.4 PROPUESTA DE ARQUITECTURA DE CONTROL Y COMUNICACIONES PARA LOS SERVICIOS AUXILIARES DE CORRIENTE ALTERNA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SALVAJINA BAJO NORMA IEC.**

En este capítulo se desarrolla el análisis conceptual de necesidades de automatización para el sistema de servicios auxiliares de corriente alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina.

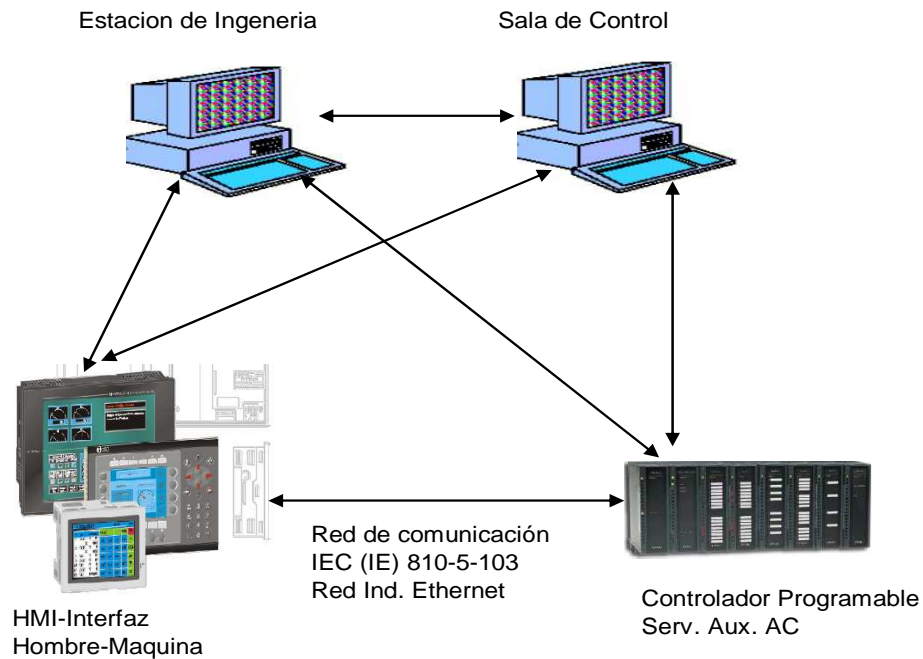
Este análisis tiene por objeto definir las funciones que se requieren automatizar, especificar el tipo de señales, entradas y salidas digitales que se requieren para la implementación del Automatismo. Se desarrolla la concepción funcional del sistema y sus respectivos algoritmos teniendo en cuenta el manejo de las normas y las condiciones más favorables para el nuevo sistema.

En la figura 14 se ha desarrollado la arquitectura de control y comunicaciones propuesta para la automatización de los servicios auxiliares de La Central Hidroeléctrica de Salvajina.

Se pretende realizar la instalación de un controlador programable para el control, la supervisión y el monitoreo de las secuencias para el cambio de los servicios auxiliares de una fuente a otra, en forma automática y en forma manual.

Además deben quedar indicadas las alarmas en caso de presentarse, y guardar un registro histórico de anomalías presentadas. Este requerimiento se logra con el software de programación y se debe incluir en los planes de cotización y de adquisición del equipo.

Figura 14. Arquitectura de control y comunicaciones Serv. Aux. AC



- **Requerimientos del sistema**

**Hardware:**

- Controlador lógico programable.
- El sistema funcionara con una pantalla tipo HMI, este novedoso sistema de interacción entre el usuario y la máquina permite el manejo de menús para consulta de datos o eventos y la parametrización de procesos.



- Una estación de control para desarrollo de ingeniería y de nuevos procesos que con seguridad se pueden ir implementando, debido a que muchos sistemas en la planta requieren de una actualización tecnológica.
- Red de comunicaciones RS- 485.

#### **Software:**

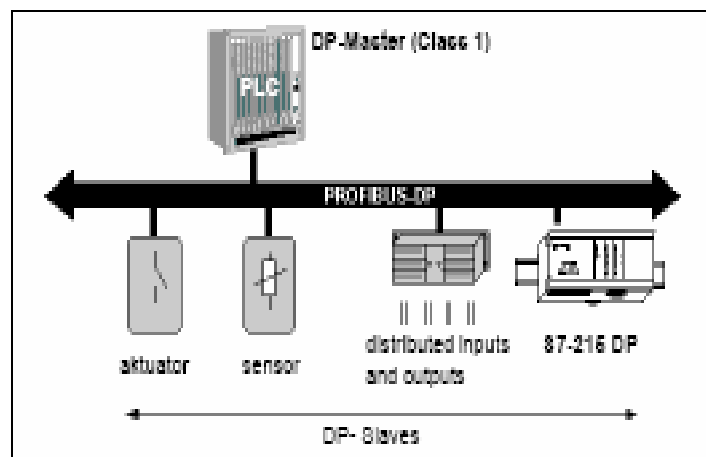
- La estación de sala de control contara con su respectiva interfaz de comunicación y el software para correr la aplicación que sea adquirida (Ej.: WinCC de SIEMENS, IOPROJECTPRO con OPTO 22) esta estación quedara interconectada con los demás equipos que componen el sistema.
- Acceso libre por OPC para aplicaciones de PC y también el acceso inalámbrico sobre Wireless Ethernet serán tenidos en cuenta para futuras aplicaciones.

**2.4.1 Arquitectura de comunicaciones:** Término genérico que describe una red local industrial de comunicación, que permite interconexión e ínter operación de dispositivos de campo. Las redes de campo están reemplazando las conexiones punto a punto, análogas o digitales (ej.: señal análoga de 4-20 mA.) en aplicaciones de instrumentación y control.

Por ejemplo, una red Profibus como la mostrada en la figura 15, es una red de comunicaciones tipo industrial. El enlace es serial, bidireccional, digital y multipunto. Se comunica con todos los sistemas en los cuartos de control entre sí y éstos a su vez con los dispositivos de campo (válvulas, drives de motores, transmisores, sensores, Instrumentos de medición digitales, relés, conmutadores,

pulsadores, bloques terminales). Todos completamente alambrados, con protocolo de comunicación.

Figura 15. Red Profibus

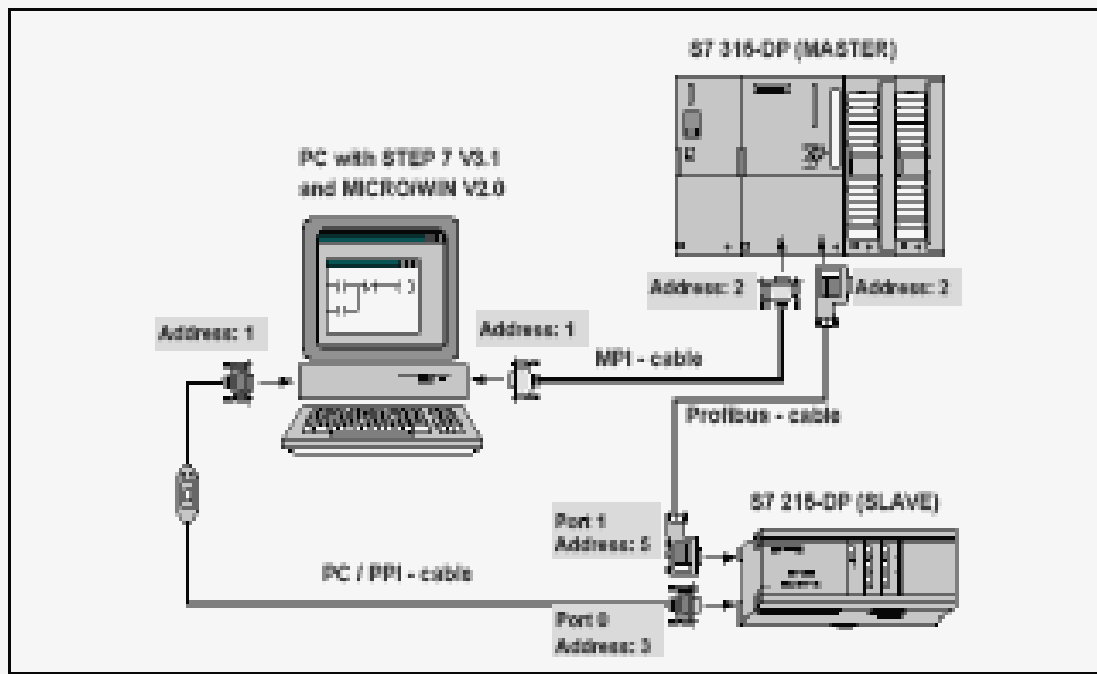


Cortesía: SIEMENS S.A.

La red de comunicaciones propuesta, figura 16, es una red que permite intercambiar datos entre todos los equipos conectados al bus, el tipo de comunicación viene incorporada en los autómatas programables, normalmente consiste de una comunicación serie asíncrona que cumple los estándares RS-232 o RS- 485.

La comunicación serie asíncrona permite el intercambio de caracteres entre el autómata y el ordenador en el proceso de la programación, o bien el envío de caracteres a una impresora o de mensajes a un Terminal de visualización (HMI). La posibilidad de comunicación se puede ampliar, usando un gateway o interfase de comunicación para conectarse a niveles superiores de la red como Ethernet.

Figura 16. Arquitectura de comunicaciones



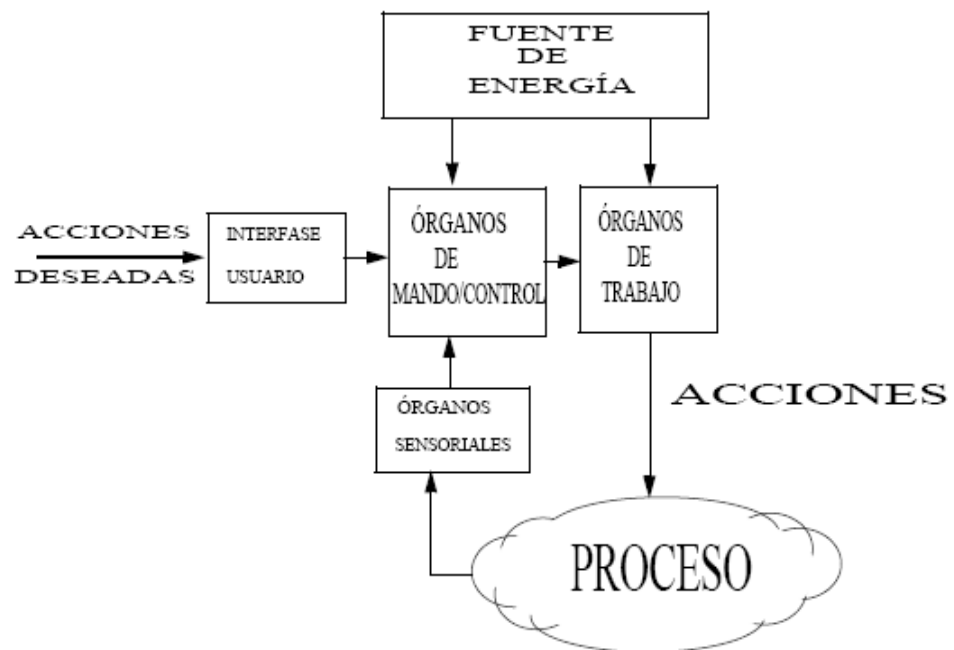
Cortesía: SIEMENS S.A.

**2.4.2 Estrategias del sistema de control y alarmas:** En general, las señales, alarmas, comandos y disparos que se requieren para la supervisión, control y protección de los servicios auxiliares de corriente alterna de la subestación deberán estar integrados en el sistema de automatización.

El sistema de control debe ser flexible para acomodarse a situaciones de contingencia tanto en el sistema de control mismo como en el de potencia.

A continuación una ilustración grafica muy sencilla de un proceso de control donde se encuentra los diferentes dispositivos que intervienen en un proceso. Figura 17.

Figura 17. Estrategia de control



Cortesía: SIEMENS S.A.

En el tablero de mando de los servicios auxiliares de corriente alterna, ubicado en la sala de control se deberán incluir lo siguientes instrumentos y las correspondientes señales:

- Medición digital de voltaje de la barra principal de 13.8 Kv.
- Medición digital de voltaje de barra A de 480 V.
- Medición digital de voltaje de barra B de 480 V.
- Señales de posición de los interruptores. 52A, 52G1, 52G2, 52D, y 52UB1.

- Posición seccionador 89UB2
- Señalización local/remoto.
- Señalización manual/auto
- Primera secuencia de operación o nivel de prioridad.
- Segunda secuencia de operación.
- Operación planta Diesel de emergencia.
- Señalización del modo de operación: modo normal o transferido al grupo diesel de emergencia.
- Mandos de abrir/cerrar los interruptores 52A, 52G1, 52G2, 52D, 52UB1.
- Señal de bajo voltaje o pérdida del mismo para cada interruptor.
- Sobré corriente en cualquiera de los interruptores.
- Operación relé diferencial en cualquiera de los interruptores.
- Señal de sobre temperatura para cada interruptor
- Señal de discrepancia para cada uno de los interruptores y el modo de operación.
- Activación de alarma sonora por cada evento.

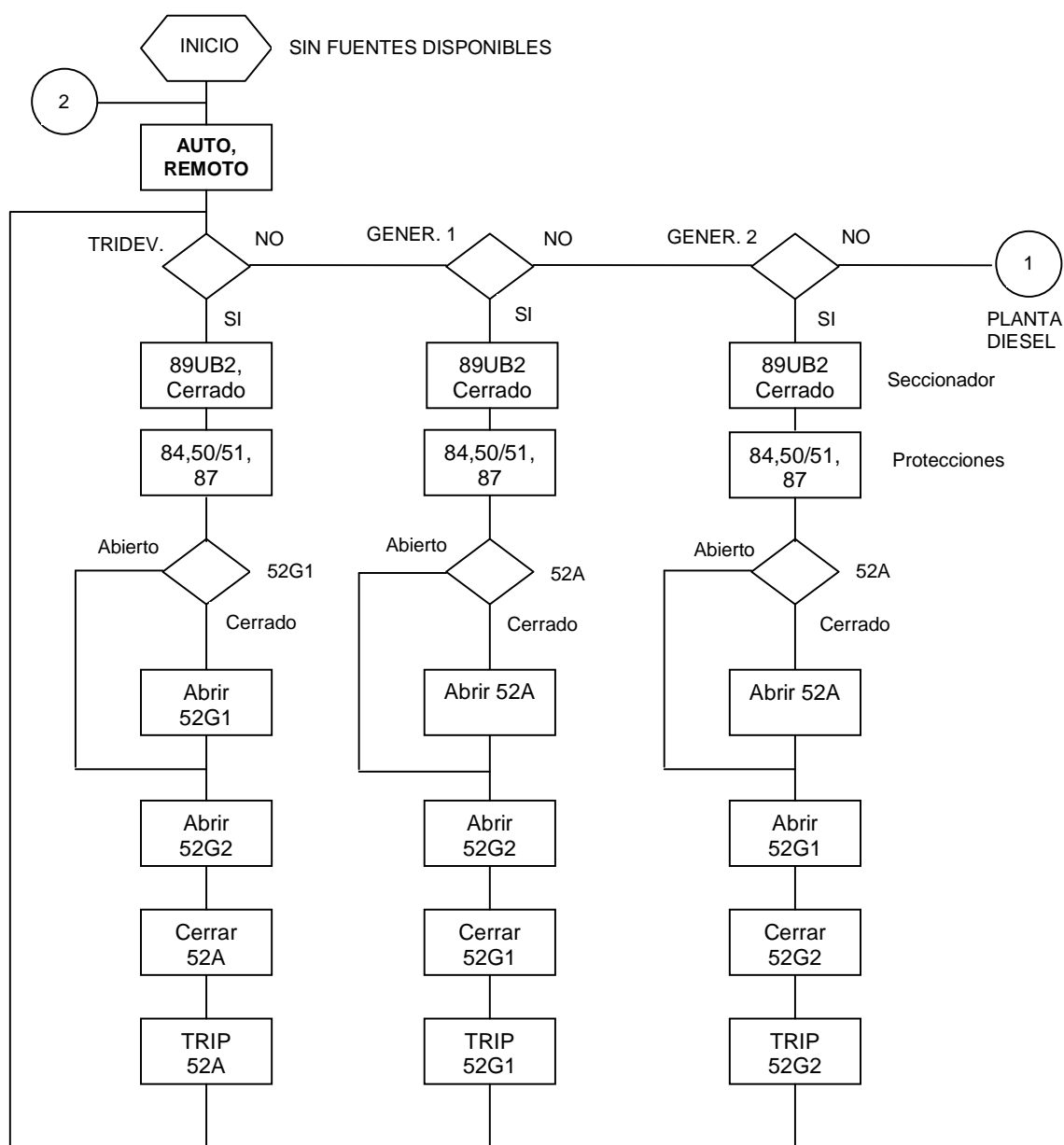
En general, el sistema de supervisión de alarmas y/o disparos y de control mediante mandos se podrá ejecutar de las siguientes maneras:

- Modo manual.
- Modo automático.
- Desde perillas ubicadas en sala de control.
- Desde pantalla HMI ubicada en sala de control.
- Desde estación maestra o de ingeniería.

En el diagrama 4 y 5 se ha desarrollado la estrategia de control automática del sistema de los servicios auxiliares de corriente alterna para La Central Hidroeléctrica de Salvajina. El control deberá trabajar automáticamente sin la intervención de los operadores de la central en caso de que se presenten anomalías en el suministro de la tensión de alimentación para los equipos de la planta.

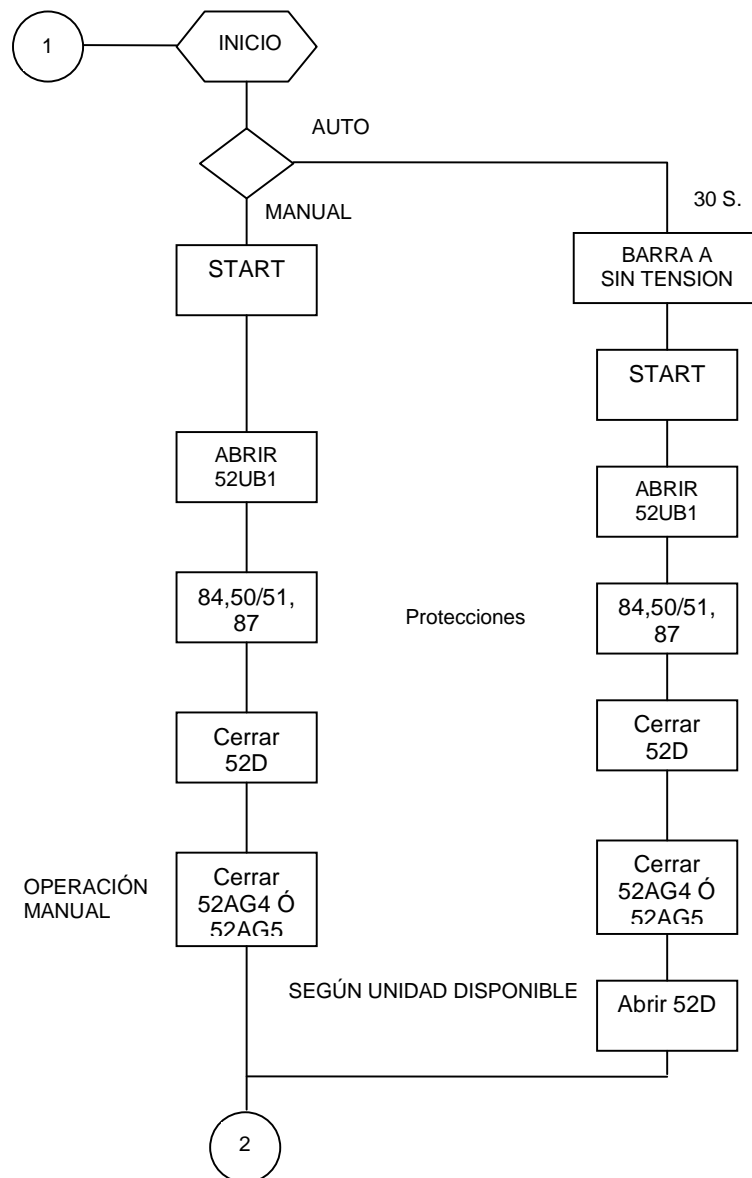
• **ESTRATEGIA DE CONTROL PROPUESTA (DIAGRAMA DE FLUJO)**  
**SECUENCIA AUTOMATICA PARA CIERRE Y APERTURA DE LOS**  
**INTERRUPTORES 52A, 52G1, 52G2, 52UB1, 52D Y ENCENDIDO DE PLANTA**  
**DIESEL.**

Diagrama 4. Secuencia automática propuesta para el control de los interruptores



- **PLANTA DIESEL**

Diagrama 5. Secuencia auto propuesta para el control de la planta Diesel





## **2.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO ANTERIOR**

La introducción de sistemas inteligentes en la actualidad es la solución más adecuada a procesos y máquinas donde se requiere rapidez, confiabilidad de operación, facilidad para el mantenimiento y por sobre todo, economía.

Los autómatas programables tiene la cualidad de acomodarse a cualquier proceso, mediante el uso de estrategias podemos implementar los desarrollos necesarios para el control de los interruptores, realizar una estrategia para las alarmas y configurar sistemas de estaciones graficas para interacción con el operador y con las estaciones de ingeniería. Llevar registros de operación para el control y monitoreo de las diferentes variables que intervienen en este proceso, etc.

Las secuencias mostradas en el diagrama de flujo (Diagrama 4 y 5) para el control automático de los interruptores y de la planta Diesel, son las operaciones ideales del sistema y están contempladas dentro de las reformas que se deben efectuar al control de los servicios auxiliares. En el anexo H se encuentra el programa implementado en Grafcet.

Se propone la implementación de una pantalla tipo HMI (interfaz grafica Hombre-Máquina) para lectura de variables y estado general del sistema. Ver anexo D.

En el anexo E se especifica el espacio físico disponible para la instalación del PLC.

### **3 SELECCIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE LOS SERVICIOS AUXILIARES.**

#### **Descripción**

En este capítulo se describen las normas técnicas, legales y ambientales que se aplicarán para adquirir un equipo de esta naturaleza y los parámetros de selección económica según las necesidades de automatización.

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de nuevas tecnologías es la tendencia que manifiestan los procesos industriales en la actualidad, gracias a su gran aplicabilidad en la industria y a su desempeño, bajo costo, facilidad de programación y dualidad en su alimentación AC-DC, se eligió el PLC como equipo final de procesamiento.

Para seleccionar el tipo de módulos de salida/entrada, CPU, fuente, módulos de comunicación, dispositivo LCD o pantalla, que se requieren, se consultó la norma IEC 61131-3. Se define la potencia necesitada para activar los elementos finales de control, las salidas de voltaje de los módulos y la tensión de trabajo.

En un futuro el control industrial de máquinas enfrentará retos como la combinación de múltiples arquitecturas de software, validación del sistema, así como flujo del proceso, producción y tiempos de funcionamiento en un sistema de automatización complejo. La clave para realizar la automatización hoy en día es

seleccionar los componentes más adecuados para las tareas a realizar, el software y hardware necesario para el sistema y que se puedan adaptar a instalaciones futuras.

Puede mejorarse la confiabilidad del sistema incorporando un monitoreo inteligente y mantenimiento predictivo como parte del sistema. El monitoreo de vibración, el registro de datos, los sistemas de alarma y la comunicación juegan un papel clave en la mejora de la confiabilidad de los sistemas futuros.

### **3.2 PARÁMETROS DE SELECCIÓN**

**3.2.1 Especificaciones técnicas (normas y estandarización):** Teniendo en cuenta la experiencia adquirida por EPSA E.S.P. en los últimos años a través de soluciones de automatización implementadas en sus plantas por empresas como ABB, SIEMENS, SOLUCIONA. El sistema a ser ofrecido deberá ser del estado del arte y ofrecer un alto grado de confiabilidad.

Cumplirá con normas y estándares internacionales como IEC 61131-3, protocolos abiertos a futuras expansiones del sistema, garantía de repuestos y asesoramiento técnico.

Los equipos, elementos, repuestos y partes que EPSA S.A. E.S.P. adquiera, serán nuevos y de primera calidad, de acuerdo con las especificaciones pactadas, no solamente por las materias primas empleadas en su elaboración, sino también por la técnica y la mano de obra y serán aptos para resistir las condiciones ambientales normales en los sitios de instalación.

Los relés auxiliares requeridos, deberán ser de la mejor calidad y de marcas de reconocido prestigio en el mercado internacional y cumplirán con la norma ANSI/IEEE C37.90. Indicadores análogos cumplirán con la norma ANSI C39.1.

Para la elaboración de los planos y de los dispositivos de control se dibujaran de acuerdo con la simbología ANSI/IEEE C37.2.

**3.2.2 Selección económica:** Para la selección económica se tendrán en cuenta factores como:

- Garantía.
- Bajo costo.
- Se ajusta a las necesidades de la aplicación a desarrollar.
- Confiabilidad.
- Disposición y actualización de las licencias del software de programación.

Para cálculos de inversión el valor de una señal cuesta alrededor de 500 dólares, esta incluye el hardware y software con el respectivo valor de la ingeniería de programación. Para los servicios auxiliares se tiene un aproximado de 97 señales, para un costo de \$113.975.000 pesos Mcte.

Para obtener los precios de los equipos (CPU) y los accesorios necesarios (módulos I/O, bloques de interfases, módulo de comunicación, interfaz grafica con el computador, fuente DC, Software, Etc.). Se consultaron empresas distribuidoras de equipos de automatización de las siguientes marcas reconocidas a nivel mundial:

- SIEMENS.
- ALLEN BRADLEY.
- OPTO 22.

En el anexo F se encuentran las cotizaciones ofertadas. De las tres opciones mencionadas anteriormente, se realizara la elección para establecer cual de éstas es la más favorable para la empresa.

Este documento sirve como base para la selección del software y el hardware, la selección corre por cuenta de la empresa, en este documento se presenta la Ingeniería de detalle para su implementación.

**3.2.3 Selección de acuerdo a normas legales y ambientales:** El equipo seleccionado y los accesorios para montaje deberán estar aprobados por laboratorios certificados internacionalmente. El fabricante del equipo deberá emitir un documento llamado especificación de pruebas en fábrica, cuyos resultados se reflejan en las características técnicas de los equipos: Banda de temperatura de trabajo y almacenaje, vibración soportada, nivel de interferencia, etc.

Todo el diseño eléctrico, material, pruebas y construcción deben ser iguales o comparables con lo indicado en las últimas normas de acuerdo con ANSI (American National Standard Institute), el IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) y el IEC.

Un adecuado espaciamiento deberá ser provisto para la instalación de las unidades de procesamiento y los módulos de control, igual para la fuente de alimentación, el cableado de control y demás accesorios. El tipo, número, tamaño

y ubicación de todos los cables, como también cualquier accesorio adicional deberá ser especificado en las hojas de datos de planos de cableado.

Los dispositivos de control y potencia serán seleccionados para una operación normal dentro de las condiciones ambientales del sitio de instalación sin protección adicional. Todos los cables de control y potencia que lleguen al tablero deberán hacerlo por medio de prensaestopas individuales del diámetro adecuado, de forma tal que el tablero quede completamente aislado y protegido de ambiente húmedo, polvo, gases corrosivos, animales e insectos.

### **3.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO ANTERIOR**

La potencia de los Autómatas programables ha aumentado considerablemente dejando de ser unos lentos elementos de control que solo pueden sustituir a los cuadros de contactores, a ejecutar complicadas aplicaciones de control con un tiempo de computo mínimo y con una alta confiabilidad. La ventaja de estos equipos es que han venido incorporando toda una gama de módulos para funciones especiales, ejemplo un PID, módulos de comunicación, gestión de control remota, etc.

El punto de equilibrio a partir del cual su precio es comparable o incluso inferior a los tradicionales de lógica cableada disminuye constantemente. En numerosos problemas es conveniente determinar el modo de gobierno más apropiado y con esta consideración la elección se torna cada vez más hacia los autómatas programables. Por otro lado se trata, no solamente de una cuestión de precio, también de una mejora en tiempo, flexibilidad incrementada con el manejo, alta

fiabilidad, localización y eliminación rápida de fallas, etc. Simultáneamente, el producto final, es decir, la máquina o el proceso equipado con uno de estos autómatas alcanzan un nivel tecnológico más elevado.

El autómata programable satisface las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales así como todas las funciones asociadas de temporización, conteo y lógica. También incluye una tarjeta de comunicación adicional, el autómata se transforma en un poderoso satélite dentro de una red de control distribuida.

El autómata programable industrial aporta una serie de ventajas como son:

- Diseñados y contruidos para su aplicación en ambiente industrial.
- Son equipos flexibles, por su carácter programable.
- Son fáciles de instalar y reutilizables.
- Contruidos de forma que sea fácil el mantenimiento y la localización de averías.
- Pueden emplearse en múltiples tipos de tarea de control en una misma planta, lo que facilita el aprendizaje, permite un mayor conocimiento y explotación de prestaciones.
- Su capacidad de comunicaciones permite la integración en la tarea global de control, o sistema de producción integrado.

## **4 CONCLUSIONES**

Se logró el alcance del proyecto, cuyo objetivo general era el desarrollo de la Ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización del control de los SERVICIOS AUXILIARES de corriente alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina.

Se desarrollaron cada uno de los objetivos específicos como fue la realización del estudio del sistema de potencia y control actual de los sistemas auxiliares basados en los requerimientos de la empresa y la necesidad de actualizar tecnológicamente este proceso dentro de la planta.

Se realizó la selección del hardware y software necesario para la implementación del control realizado por un autómata programable.

Como Ingeniería de detalle se generan los planos de conexión del PLC bajo norma IEC, el programa para la estrategia de control, para la estrategia de supervisión y la interfaz grafica de comunicación entre el operador y la máquina.

Se realizan las recomendaciones pertinentes ha tener en cuenta para la instalación de un dispositivo de esta naturaleza para el control de los servicios auxiliares de corriente alterna.

Se elaboró un artículo bajo la norma IEEE sobre el presente proyecto.



## 5 RECOMENDACIONES

Las siguientes son las recomendaciones a tener en cuenta para modernizar el control de los servicios auxiliares de corriente alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina.

- Para tener una visualización de los valores de tensión y corriente de las barras, se deben instalar acondicionadores de señal y un módulo de señales análogas para el PLC.
- Se debe realizar un mantenimiento general a los interruptores y habilitar el dispositivo electrónico de sobré corriente.
- Para habilitar el software de control se debe destinar un PC en la sala de control.
- Para ejercer un control total del sistema, los interruptores manuales se deben cambiar por interruptores motor-operados (52AG4, 52AG5, 52AG6)
- Se debe realizar una modificación del circuito de apertura y cierre de los interruptores 52AG1, 52AU1, 52AG2, 52AU2, 52AG3, 52AU3, con el fin de que la alimentación de control de las unidades siempre se tome del barraje principal A y no de cada unidad como esta en la actualidad.
- Se deben realizar los siguientes estudios para los servicios auxiliares: Conexión de tierras, termografía de interruptores y componentes asociados, con el fin de asegurar la protección del equipo a instalar.

## **BIBLIOGRAFÍA**

HARPER, Enríquez. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. 2 ed. México: Limusa, 2000. 509 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Santafé de Bogota, D.C.: ICONTEC, 2002. 23 p. NTC 1486

INGETEC S.A. Diagramas elementales auxiliares generales: Hidroeléctrica Salvajina. Volumen IV, circuito 84.

LUCA M., Carlos. Plantas eléctricas: teoría y proyectos. 8 ed. México: Alfa omega, 1995. 447 p.

PIEDRAFITA MORENO, Ramón. Ingeniería de la automatización industrial. Madrid: RE-MA, 2001. 576 p.

SIEMENS S.A. Manuales del sistema de automatización S7-200 PLC [en línea]. Colombia: 2005. [consultado 15 de agosto de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.siemens.com.co>

RAMIREZ G., Carlos Felipe. Subestaciones de alta y extra alta tensión. Colombia: Mejia Villegas, 1991. 971 p.

RAMIREZ VAZQUEZ, D. José. Enciclopedia CEAC de electricidad. (Centrales Eléctricas) 7 ed. España: Gersa, 1994. 766 p.

## **ANEXOS**

### **Anexo A. Pertinencia de la norma**

- **INTRODUCCIÓN**

La normalización técnica nos ofrece grandes ventajas y beneficios, se destaca indudablemente por la garantía de seguridad que brinda a los usuarios de los productos, las normas nos permiten establecer criterios para montaje de equipos y demás elementos eléctricos e identificar la función de los equipos y el modo de operación. Dentro de la normalización tenemos las convenciones o simbología que son la forma práctica y el lenguaje universal para el entendimiento de planos y diagramas eléctricos.

En los diagramas unifilares se debe utilizar una notación normalizada o convencional para indicar las características principales de los equipos. Esta normalización es la que rige en la actualidad y es proporcionada por entidades como IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), ANSI (Sistema Internacional de Normas Americanas), Con estas normas se busca el conocimiento básico que el personal de mantenimiento e ingeniería debe poseer sobre la conformación de métodos de fabricación, cableado, conexión, planos eléctricos de control y potencia, etc. Conocimiento que utilizaremos para el diseño de los diagramas unifilares, de control y supervisión.

Para la elaboración de los planos se aconseja tener en cuenta la disposición de la subestación de tal manera, que los equipos de mayor tensión queden en la parte superior del plano. Las líneas de control entre los dispositivos se dibujan con un trazo fino y punteado, y siempre deben tener un dispositivo de partida y uno o varios de llegada, lo cual se indica con puntas de flecha.

Cuando el diagrama incluye equipos de patio y de tablero, se deben tratar de ubicar en una misma franja horizontal los equipos de tablero y en otra franja inmediatamente inferior los equipos de patio. Además se deben trazar líneas punteadas horizontales indicando el límite entre los equipos ubicados en el patio y los ubicados en los tableros.

Se deben identificar los diferentes tipos de tableros así:

- Estructura interna y externa, según NTC 3278.
- Tipos de IP (grado de protección), según norma DIN 40050.
- Nomenclatura de equipos internos según la norma DIN 40719.
- Identificación de equipos según su función de acuerdo a la norma ANSI C37.2.
- Grado de protección contra contactos de acuerdo con la norma NTC 3279 (IEC 60529).
- Diseño para soportar efectos sísmicos de acuerdo a la norma IEEE 693.
- Para automatizar se hará bajo la norma IEC 61131-3.

- **NORMA IEC 529**

Los tableros principales de distribución comprenden una o más unidades de entrada, eventualmente concentradores de barras y un número relativamente reducido de salidas, otros a una serie de instrumentos de medición y equipos de comando y control. Una característica particular de estos tableros son los elevados valores de las corrientes de corto circuito y nominal, por lo que su estructura debe ser robusta para soportar las solicitaciones electrodinámicas y el peso de aparatos de gran tamaño.

Los tableros tipo interior deberán tener la clase de protección IP-44, según la norma IEC 529, y serán completamente ensamblados y alambrados por el fabricante de acuerdo con los planos y deben consistir principalmente de lo siguiente:

- Estructura de acero auto soportante.
- Barras, conexiones de barras y conexiones terminales.
- Barra de tierra.
- Interruptores termo magnéticos en aire, operados automáticamente y manualmente.

- **NORMA IEC 60051**

Instrumentos de medida eléctricos con indicación analógica por acción directa y sus accesorios.

Parte 2: Requisitos particulares para amperímetros y voltímetros

Parte 3: Requisitos particulares para vatímetros y varímetros

Parte 4: Requisitos particulares para frecuencímetros

Parte 4: Métodos de ensayo recomendados

- **NORMA IEC 947**

La norma IEC 947-1 explica las reglas generales referentes a los mecanismos de conmutación y control de baja tensión. La finalidad de esta norma es armonizar en todo lo posible los requisitos de rendimiento y prueba de los equipos, cuando la tensión nominal no sobrepasa los 1.000 VAC ó 1.500 VDC. La norma IEC 947-5-1 es la parte 5 de las reglas generales que se refieren a dispositivos de control de circuitos y elementos de conmutación.

La norma describe los requisitos generales para la corriente eléctrica, la tensión nominal y las características de vida útil de los mecanismos de conmutación de baja tensión (120 V a 1000 V).

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

La evolución de la necesidad de seguridad y de las tecnologías ha llevado a una revisión significativa de las exigencias normativas para los interruptores automáticos industriales. Hoy en día, la conformidad a la norma IEC 947-2 de 1989, reeditada y completada en 1995, puede considerarse como un seguro a todo riesgo en cuanto a las prestaciones de los interruptores automáticos.

Hay una norma para cada uno de los elementos de una instalación eléctrica. La conformidad de un producto con estas normas es, para el usuario, un seguro de calidad y fiabilidad.

Funciones de Los dispositivos para sistemas eléctricos de potencia según ANSI Estándar C.37.2

Tabla 5. Simbología ANSI/IEC

$>$	Protección de máxima de corriente (50 / 51)
$I =$	Protección direccional de corriente (67)
$I o >$	Protección de máxima corriente homo polar (50N / 51N)
$I o \leftarrow$	Protección direccional de tierra (67N)
$I_i$	Protección de máximo de componente inversa desequilibrio (46)
$I$	Protección de imagen térmica (49)
$\Delta I$	Protección diferencial (87)
$\Delta I o >$	Protección diferencial de tierra (87G)
$U <$	Protección de mínimo de tensión (27)
$> f >$	Protección de máxima y mínima frecuencia (81)
$U >$	Protección de máxima tensión (59)
$P \leftarrow$	Protección contra retorno de potencia activa (32P)
$Q \leftarrow$	Protección contra retorno de potencia o potencia inversa (32Q / 40)
$U o >$	Protección de máxima tensión homo polar (59N)

- **Simbologías típicas. Funciones de los dispositivos / Códigos ANSI/IEC**

Nº Función y Descripción.

**1 Elemento principal:** Es el dispositivo de iniciación, tal como el interruptor de control, relé de tensión, interruptor maestro, etc., que sirve para poner un aparato en operación o fuera de servicio, bien directamente o a través de dispositivos tales como relés de protección.

**2 Relé de cierre o arranque con retardo de tiempo:** Es el que da un retardo de tiempo deseado entre operaciones de una secuencia automática o de un sistema de protección, excepto cuando es proporcionado específicamente por los dispositivos 48, 62 y 79 descritos más adelante.

**3 Relé de comprobación o de bloqueo:** Es el que opera en respuesta a la posición de un número de otros dispositivos, o un número de condiciones predeterminadas en un equipo para permitir que continúe su operación, para que se pare, o para proporcionar una prueba de la posición de estos dispositivos o de otras condiciones para cualquier fin.

**4 Relé maestro de arranque:** Es un dispositivo generalmente mandado por el dispositivo No. 1 o su equivalente y los dispositivos de permiso y protección necesarios, y que sirve para abrir y cerrar los circuitos de control necesarios para reponer un equipo en marcha, bajo las condiciones deseadas o bajo otras condiciones o anormales.

**5 Relé maestro de parada:** Es aquel cuya función primaria es quitar y mantener un equipo fuera de servicio.



**6 Interruptor de arranque:** Es un dispositivo cuya función principal es conectar la máquina a su fuente de tensión de arranque.

**7 Interruptor de ánodo:** Es el utilizado en los circuitos del ánodo de un rectificador de potencia, principalmente para interrumpir el circuito del rectificador por retorno del encendido de arco.

**8 Dispositivo de desconexión de energía de control:** Es un dispositivo de desconexión (conmutador de cuchilla, interruptor de bloque o fusibles extraíbles) que se utiliza con el fin de conectar y desconectar, respectivamente, la fuente de energía de control hacia y desde la barra o equipo de control. Se considera que la energía de control incluye la energía auxiliar que alimenta aparatos pequeños como motores y calefactores.

**9 Dispositivo de inversión de campo:** Es el que se utiliza para invertir las conexiones de campo de una máquina o bien para otras funciones especiales de inversión.

**10 Interruptor de control de secuencia:** Es el que se utiliza para cambiar la secuencia de conectar o desconectar unidades en un equipo de unidades múltiples.

**11 Reservado para futuras aplicaciones.**

**12 Dispositivo de sobre velocidad:** Es normalmente un monitor de velocidad que actúa cuando la máquina toma sobre velocidad.

**13 Dispositivo de velocidad síncrona:** Es el que funciona con aproximadamente la velocidad síncrona normal de una máquina, tal como un conmutador de velocidad centrifuga, relés de frecuencia de deslizamiento, relé de tensión, relé de

intensidad mínima o cualquier tipo de dispositivo que accione con aproximadamente la velocidad normal de una máquina.

**14 Dispositivo de baja velocidad:** Funciona cuando la velocidad de una máquina desciende por debajo de un valor predeterminado.

**15 Dispositivo regulador de velocidad o frecuencia:** Es el que funciona para mantener la velocidad o frecuencia de una máquina o sistema a un cierto valor, o bien entre ciertos límites.

**16 Reservado para futuras aplicaciones.**

**17 Conmutador para puentear el campo serie:** Sirve para abrir y cerrar un circuito shunt entre los extremos de cualquier pieza o aparato (excepto una resistencia) tal como el campo de una máquina, un condensador o una reactancia. Esto excluye los dispositivos que realizan las funciones de shunt necesarias para arrancar una máquina por los dispositivos 6 ó 42, o su equivalente, y también excluye la función del dispositivo 73 que sirve para la operación de las resistencias.

**18 Dispositivo de acelerar o desacelerar:** Es el que se utiliza para cerrar o hacer cerrar los circuitos que sirven para aumentar o disminuir la velocidad de una máquina.

**19 Contactos de transición de arranque a marcha normal:** Su función es hacer la transferencia de las conexiones de alimentación de arranque a las de marcha normal de la máquina.

**20 Válvula operada eléctricamente:** Es una válvula accionada por solenoide o motor, que se utiliza en circuitos de vacío, aire, gas, aceite, agua o similares.

**21 Relé de distancia:** Es el que funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia del circuito disminuyen a unos límites anteriormente fijados. Utilizado especialmente en líneas de transmisión.

**22 Interruptor igualador:** Sirve para conectar y desconectar las conexiones igualadoras o de equilibrio de intensidad, para los reguladores del campo de la máquina o de tensión de la máquina en una instalación de unidades múltiples.

**23 Dispositivo de control de temperatura:** Funciona para mantener la temperatura de la máquina u otros aparatos dentro de ciertos límites. Un ejemplo es un termostato que enciende la calefacción de un recinto con elementos electromecánicos, cuando la temperatura desciende a un valor prefijado, que es distinto de un dispositivo usado para proporcionar regulación de temperatura automática entre límites próximos, y que sería designado como 90T.

**24 Reservado para futuras aplicaciones.**

**25 Relé de sincronización o puesta en paralelo:** Es el que funciona cuando dos circuitos de alterna están dentro de los límites deseados de tensión, frecuencia y ángulo de fase, lo cuál permite la conexión en paralelo de estos circuitos.

**26 Dispositivo térmico:** Funciona cuando la temperatura del campo shunt, o el bobinado amortiguador de una máquina o el de una resistencia de limitación o cambio de carga o de un líquido u otro medio, excede de un valor determinado. Si la temperatura del aparato protegido, tal como un rectificador de energía, o de cualquier otro medio, está más abajo de un valor prefijado.

**27 Relés de baja tensión:** Es el que funciona al descender la tensión a un valor predeterminado.

**28 Detector de llama:** Su función es detectar la existencia de llama en el piloto o quemador principal, por ejemplo de una caldera o una turbina de gas.

**29 Contactos de aislamiento:** Es el que se utiliza con el propósito especial de desconectar un circuito de otro, por razones de maniobra de emergencia, conservación o prueba.

**30 Relé anunciador:** Es un dispositivo de reposición no automática que da un número de indicaciones visuales independientes al accionar el dispositivo de protección y además también puede estar dispuesto para efectuar una función de enclavamiento.

**31 Dispositivo de excitación separada:** Es el que conecta un circuito, tal como el campo shunt de una conmutatriz, a la fuente de excitación separada durante el proceso de arranque, o bien se utiliza para energizar la excitación y el circuito de encendido de un rectificador.

**32 Relé direccional de potencia:** Funciona sobre un valor deseado de potencia en una dirección dada, o sobre la potencia invertida resultante del retroceso del arco en los circuitos de ánodo o cátodo de un rectificador de potencia.

**33 Conmutador de posición:** Es el que hace o abre contacto cuando el dispositivo principal o parte del aparato, que no tiene un número funcional de dispositivo, alcanza una posición dada.

**34 Conmutador de secuencia:** Movido a motor es un conmutador de contactos múltiples el cual fija la secuencia de operación de los dispositivos principales durante el arranque y la parada, o durante otras operaciones que requieran una secuencia.

**35 Dispositivo para cortocircuitar las escobillas o anillos rozantes:** Es para elevar, bajar o desviar las escobillas de una máquina, o para cortocircuitar los anillos rozantes.

**36 Dispositivo de polaridad:** Es el que acciona o permite accionar a otros dispositivos con una polaridad dada solamente.

**37 Relé de mínima intensidad o baja potencia:** Funciona cuando la intensidad o la potencia caen por debajo de un valor predeterminado.

**38 Dispositivo térmico de cojinetes:** Funciona con una temperatura excesiva de los cojinetes.

**39 Detector de condiciones mecánicas:** Su cometido es funcionar en situaciones mecánicas anormales (excepto las que suceden a los cojinetes de una máquina, función 38), tales como vibración excesiva, excentricidad, expansión choque, etc.

**40 Relé de campo/pérdida de excitación:** Funciona a un valor anormalmente bajo de la intensidad de campo de una máquina, o por el valor excesivo de la componente reactiva de la corriente de armadura en una máquina de AC, que indica excitación de campo anormalmente baja.

**41 Interruptor de campo:** Es un dispositivo que funciona para aplicar o quitar la excitación de campo de la máquina.

**42 Interruptor de marcha:** Es un dispositivo cuya función principal es la de conectar la máquina a su fuente de tensión de funcionamiento en marcha, después de haber sido llevada hasta la velocidad deseada de la conexión de arranque.

**43 Dispositivo de transferencia:** Es un dispositivo, accionado a mano, que efectúa la transferencia de los circuitos de control para modificar el proceso de operación del equipo de conexión de los circuitos o de algunos de los dispositivos.

**44 Relé de secuencia de arranque del grupo:** Funciona para arrancar la unidad próxima disponible en un equipo de unidades múltiples cuando falla o no está disponible la unidad que normalmente le precede.

**45 Detector de condiciones atmosféricas:** Funciona ante condiciones atmosféricas anormales como humos peligrosos, gases explosivos, fuego, etc.

**46 Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases:** Es un relé que funciona cuando las intensidades polifásicas están en secuencia inversa o desequilibrada o contienen componentes de secuencia negativa.

**47 Relé de tensión para secuencia de fase:** Es el que funciona con un valor dado de tensión polifásica de la secuencia de fase deseada.

**48 Relé de secuencia incompleta:** Es el que vuelve el equipo a la posición normal o «desconectado» y lo enclava si la secuencia normal de arranque, funcionamiento o parada no se completa debidamente dentro de un intervalo de tiempo predeterminado.

**49 Relé térmico para máquina, equipo o transformador:** Funciona cuando la temperatura de una máquina, equipo o transformador excede de un valor fijado.

**50 Relé instantáneo de sobre intensidad y velocidad de aumento de intensidad:** Funciona instantáneamente con un valor excesivo de la intensidad o con un valor excesivo de velocidad de aumento de la intensidad, indicando avería en el aparato o circuito que protege.

**51 Relé temporizado de sobre intensidad de AC:** Es un relé con característica de tiempo inversa o definida, que funciona cuando la intensidad de un circuito de AC sobrepasa un valor dado.

**52 Interruptor de AC:** Es el que se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencia de AC bajo condiciones normales o de falla o de emergencia.

**53 Relé de la excitatriz o del generador de CC:** Es el que fuerza el campo de la máquina de CC durante el arranque o funciona cuando la tensión de la máquina ha llegado a un valor dado.

**54 Reservado para futuras aplicaciones.**

**55 Relé de factor de potencia:** Es el que funciona cuando el factor de potencia en un circuito de AC no llega o sobrepasar un valor dado.

**56 Relé de aplicación del campo:** Es el que se utiliza para controlar automáticamente la aplicación de la excitación de campo de un motor de AC en un punto predeterminado por el deslizamiento.

**57 Dispositivo de cortocircuito o de puesta a tierra:** Es el que opera por potencia o por energía almacenada y que funciona para cortocircuitar o poner a tierra un circuito, en respuesta a medios automáticos o manuales.

**58 Relé de fallo de rectificador de potencia:** Funciona debido al fallo de uno o más ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo a conducir o bloquear propiamente.

**59 Relé de sobré tensión:** Funciona con un valor dado de sobré tensión.

**60 Relé de equilibrio de tensión:** Opera con una diferencia de tensión entre dos circuitos.

**61 Reservado para futuras aplicaciones.**

**62 Relé de parada o apertura con demora de tiempo:** Se utiliza en unión con el dispositivo que inicia la parada total o la indicación de parada o apertura en una secuencia automática.

**63 Relé de presión de gas, líquido o vacío:** Es el que funciona con un valor dado de presión de líquido o gas, para una determinada velocidad de variación de la presión.

**64 Relé de protección de tierra:** Funciona con el fallo a tierra del aislamiento de una máquina, transformador u otros aparatos, o por formación de arco a tierra de una máquina de CC. Esta función se aplica solo a un relé que detecte el paso de corriente desde el armazón de una máquina, caja protectora o estructura de una pieza de aparatos, a tierra, o detecta una tierra en un bobinado o circuito normalmente no puesto a tierra. No se aplica a un dispositivo conectado en el circuito secundario o en el neutro secundario de un transformador o trafos de intensidad, conectados en el circuito de potencia de un sistema puesto normalmente a tierra.

**65 Regulador mecánico:** Es el equipo que controla la apertura de la compuerta o válvula de la máquina motora, para arrancarla, mantener su velocidad o detenerla.

**66 Relé de pasos:** Funciona para permitir un número especificado de operaciones de un dispositivo dado o equipo, o bien un número especificado de operaciones sucesivas con un intervalo dado de tiempo entre cada una de ellas. También se utiliza para permitir el energizado periódico de un circuito, y la aceleración gradual de una máquina.



**67 Relé direccional de sobré intensidad de AC:** Es el que funciona con un valor deseado de circulación de sobré intensidad de AC en una dirección dada.

**68 Relé de bloqueo:** Es el que inicia una señal piloto para bloquear o disparar en fallas externas en una línea de transmisión o en otros aparatos bajo condiciones dadas, coopera con otros dispositivos a bloquear el disparo o a bloquear el reenganche en una condición de pérdida de sincronismo o en oscilaciones de potencia.

**69 Dispositivo de supervisión y control:** Es generalmente un interruptor auxiliar de dos posiciones accionado a mano, el cual permite una posición de cierre de un interruptor o la puesta en servicio de un equipo y en la otra posición impide el accionamiento del interruptor o del equipo.

**70 Reóstato:** Se utiliza para variar la resistencia de un circuito en respuesta a algún método de control eléctrico, que, o bien es accionado eléctricamente, o tiene otros accesorios eléctricos, como contactos auxiliares de posición o limitación.

**71 Relé de nivel de líquido o gaseoso:** Este relé funciona para valores dados de nivel de líquidos o gases, o para determinadas velocidades de variación de estos parámetros.

**72 Interruptor de Corriente Continua:** Se utiliza para cerrar o interrumpir el circuito de alimentación de CC. bajo condiciones normales o para interrumpir este circuito bajo condiciones de emergencia.

**73 Contactor de resistencia en carga:** Es el que se utiliza para puentear o meter en circuito un punto de la resistencia limitadora, de cambio o indicadora, o bien para activar un calentador, una luz, o una resistencia de carga de un rectificador de potencia u otra máquina.

**74 Relé de alarma:** Es cualquier otro relé diferente al anunciador comprendido bajo el dispositivo 30 que se utiliza para accionar u operar en unión de una alarma visible o audible.

**75 Mecanismo de cambio de posición:** Se utiliza para cambiar un interruptor desconectable en unidad entre las posiciones de conectado, desconectado y prueba.

**76 Relé de sobré intensidad de Corriente Continua:** Funciona cuando la intensidad en un circuito de CC sobrepasa un valor determinado.

**77 Transmisor de impulsos:** Se utiliza para generar o transmitir impulsos, a través de un circuito de télé medida o hilos piloto, a un dispositivo de indicación o recepción de distancia.

**78 Relé de salto de vector o medidor del ángulo de desfase (protección de salida de paralelo):** Funciona con un valor determinado de ángulo de desfase entre dos tensiones o dos intensidades, o entre tensión e intensidad.

**79 Relé de reenganche de AC:** Es el que controla el reenganche y enclavamiento de un interruptor de AC.

**80 Relé de flujo líquido o gaseoso:** Actúa para valores dados de la magnitud del flujo o para determinadas velocidades de variación de éste.

**81 Relé de frecuencia:** Funciona con una variación de la frecuencia o por la velocidad de variación de la frecuencia.

**82 Relé de reenganche de CC:** Controla el cierre y reenganche de un interruptor de CC generalmente respondiendo a las condiciones de la carga del circuito.

**83 Relé de selección o transferencia del control automático:** Es el que funciona para elegir automáticamente entre ciertas fuentes de alimentación o condiciones de un equipo, o efectúa automáticamente una operación de transferencia.

**84 Mecanismo de accionamiento:** Es el mecanismo eléctrico completo, o servomecanismo, incluyendo el motor de operación, solenoides, auxiliares de posición, etc., para un cambiador de tomas, regulador de inducción o cualquier pieza de un aparato que no tenga número de función.

**85 Relé receptor de ondas portadoras o hilo piloto:** Es accionado o frenado por una señal y se usa en combinación con una protección direccional que funciona con equipos de transmisión de onda portadora o hilos piloto de CC.

**86 Relé de enclavamiento:** Es un relé accionado eléctricamente con reposición a mano o eléctrica, que funciona para parar y mantener un equipo un equipo fuera de servicio cuando concurren condiciones anormales.

**87 Relé de protección diferencial:** Funciona sobre un porcentaje o ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa de dos intensidades o algunas otras cantidades eléctricas.

**88 Motor o grupo motor generador auxiliar:** Se utiliza para accionar equipos auxiliares, tales como bombas, ventiladores, excitatrices, etc.

**89 Desconectador de línea:** Se utiliza como un desconectador de conexión o aislamiento en un circuito de potencia de AC o CC cuando este dispositivo se acciona eléctricamente o bien tiene accesorios eléctricos, tales como interruptores auxiliares, enclavamiento electromagnético, etc.

**90 Dispositivo de regulación:** Funciona para regular una cantidad, tal como tensión, intensidad, potencia, velocidad, frecuencia, temperatura y carga a un valor dado, o bien ciertos límites para las máquinas, líneas de unión u otros aparatos.

**91 Relé direccional de tensión:** Funciona cuando la tensión entre los extremos de un interruptor o contactor abierto sobrepasa un valor dado en una dirección dada.

**92 Relé direccional de tensión y potencia:** Es un relé que permite u ocasiona la conexión de dos circuitos cuando la diferencia de tensión entre ellos excede de un valor dado en una dirección predeterminada y da lugar a que estos dos circuitos sean desconectados uno de otro cuando la potencia circulante entre ellos excede de un valor dado en la dirección opuesta.

**93 Contactor de cambio de campo:** Funciona para cambiar el valor de la excitación de la máquina.

**94 Relé de disparo o disparo libre:** Funciona para disparar o permitir disparar un interruptor, contactor o equipo, o evitar un recierre inmediato de un interruptor.

**95 Reservado para futuras aplicaciones.**

**96 Detector de vibraciones:** Es el que detecta movimientos bruscos o desplazamientos anormales de un elemento.

**97(\*)**

**98(\*)**

**99(\*)**

(\*) Reservados para aplicaciones especiales.

- **IDENTIFICACION DE EQUIPOS INTERNOS SEGÚN LA NORMA DIN 40719**

- A – Equipos interconectados, o preensamblados.
- B – Conversores eléctricos.
- C – Capacitores.
- D – Elementos binarios, dispositivos de retardo.
- E – Elemento auxiliares de control.
- F – Elementos de protección.
- G – Generadores y fuentes de sistemas de suministro.
- H – Sistemas de señalización.
- K – Relés y contactores.
- L – Inductor.
- M – Motores.
- N – Elementos análogos y controladores.
- P – Instrumentos d medida y dispositivos de prueba.
- Q – Interruptores.
- R – Resistencias.
- T – Transformadores.
- U – Conversores eléctricos.
- V – Semiconductores.
- W – Cables de comunicación.
- X – Terminales de conexión.
- Y – Dispositivos mecánicos.
- Z – Filtros igualadores de dispositivos de terminación.

- **Letras y sufijos de las funciones descritas**

Letras que denotan dispositivos auxiliares Separados:

C - Relé o contactor de cierre

CL - Auxiliar, cerrado (energizado cuando el dispositivo principal está en posición de cierre)

CS - Conmutador de control

D - Posición «baja» del relé conmutador

L - Relé de descenso

O - Relé de apertura o contactor de apertura

OP - Relé auxiliar, abierto (energizado cuando el dispositivo principal está en posición abierta)

PB - Pulsador

R - Relé de subida

U - Posición «arriba» del relé conmutador

X	}	Relé auxiliar
Y		
Z		

Letras que indican la condición o magnitud eléctrica a la que corresponde el dispositivo o el medio al que está unido, tales como:

A - Aire y Amperios

C - Corriente

E - Electrolito

F - Frecuencia o circuito de falta

L - Nivel o líquido

P - Potencia o presión

PF - Factor de potencia  
Q - Aceite  
S - Velocidad  
T - Temperatura  
V - Tensión o voltios en vacío  
VAR - Potencia reactiva  
VB - Vibración  
W - Agua o Vatios

Letras que denotan el lugar del dispositivo principal en el circuito o el tipo de circuito en el que se utiliza el dispositivo o el tipo de circuito o aparato con el que está asociado, cuando este es necesario:

A - Alarma o potencia auxiliar  
AC - Corriente alterna  
NA - Ánodo  
B - Bateria o ventilador o barra  
BK - Freno  
BP - By-pass  
C - Condensador o compensador o corriente

### • INTRODUCCIÓN A LA NORMA 61131-3

La identificación y aplicación correcta de arquitecturas de software para solucionar los problemas de automatización es el reto del futuro. Los lenguajes IEC 61131-3, como el lenguaje de escalera y los diagramas de bloques funcionales se ajustan a la mayoría de las aplicaciones de manufactura discreta que involucran operaciones primarias de encendido y apagado. Sin embargo, a medida que las

máquinas requieren de múltiples cambios y rutinas de mantenimiento predictivo, lenguajes como National Instruments, LAB VIEW emergen como una plataforma de desarrollo sencilla que combina máquinas de estado para modos de operación definidos, flujo de datos para rutinas de monitoreo, soluciones de integración en tiempo real para control de precisión, eventos para respuesta de fallas, y lógica secuencial para operaciones de encendido y apagado.

IEC 61131 es el primer paso en la estandarización de los autómatas programables y sus periféricos, incluyendo los lenguajes de programación que se deben utilizar. Esta norma se divide en cinco partes:

- Parte 1: Vista general.
- Parte 2: Hardware.
- Parte 3: Lenguaje de programación.
- Parte 4: Guías de usuario.
- Parte 5: Comunicación.

IEC 61131-3 pretende ser la base real para estandarizar los lenguajes de programación en la automatización industrial, haciendo el trabajo independiente de cualquier compañía.

ESTANDAR IEC 61131-3:

- Elementos comunes.
- Lenguajes de programación.

Las implicaciones técnicas de la norma IEC 61131-3 son altas, dejando bastante espacio para el crecimiento y la diferenciación. Esto la hace adecuada para entrar óptimamente en el próximo siglo.



La norma IEC 61131-3 tendrá un gran impacto en el mundo del control industrial y éste no se restringe al mercado convencional de los PLC's. Ahora mismo, se pueden ver adoptadas en aplicaciones para control de movimiento, sistemas distribuidos y sistemas de control basados en PC (Soft-PLC), incluyendo los paquetes SCADA. Y las áreas de su utilización siguen creciendo.

Dentro de IEC 1131-3, los programas, bloques funcionales y funciones, se denominan Unidades de Organización de Programas, POU's.

Funciones:

IEC 61131-3 especifica funciones estándar y funciones definidas por usuario.

Las funciones estándar son por ejemplo: ADD (suma), ABS (valor absoluto), SQRT (raíz cuadrada), SIN (seno), y COS (coseno).

Las funciones definidas por usuario, una vez implementadas pueden ser usadas indefinidamente en cualquier POU. Las funciones no pueden contener ninguna información de estado interno, es decir, que la invocación de una función con los mismos argumentos (parámetros de entrada) debe suministrar siempre el mismo valor (salida).

Bloques funcionales, (F B'S):

Los bloques funcionales son los equivalentes de los circuitos integrados (IC's), que representan funciones de control especializadas. Los FB's contienen tanto datos como instrucciones, y además pueden guardar los valores de las variables (que es una de las diferencias con las funciones). Tienen una interfaz de entradas y salidas bien definida y un código interno oculto, como un circuito integrado o una

caja negra. De este modo, establecen una clara separación entre los diferentes niveles de programadores, o el personal de mantenimiento.

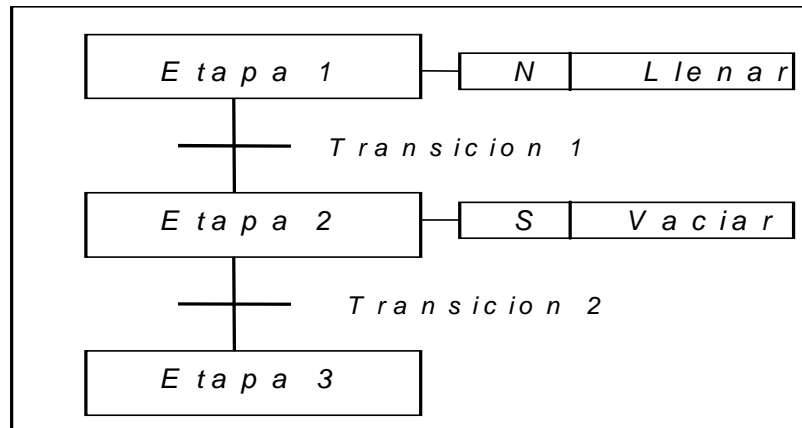
Un lazo de control de temperatura, PID, es un excelente ejemplo de bloque funcional. Una vez definido, puede ser usado una y otra vez, en el mismo programa, en diferentes programas o en distintos proyectos. Esto lo hace altamente reutilizable.

Los bloques funcionales pueden ser escritos por el usuario en alguno de los lenguajes de la norma IEC, pero también existen FB's estándar (biestables, detección de flancos, contadores, temporizadores, etc.). Existe la posibilidad de ser llamados múltiples veces creando copias del bloque funcional que se denominan instancias. Cada instancia llevará asociado un identificador y una estructura de datos que contenga sus variables de salida.

#### Programas:

Los programas son “un conjunto lógico de todos los elementos y construcciones del lenguaje de programación que son necesarios para el tratamiento de señal previsto que se requiere para el control de una máquina o proceso mediante el sistema de autómata programable”. Un programa puede contener, aparte de la declaración de tipos de datos, variables y su código interno, distintas instancias de funciones y bloques funcionales.

### Gráfico Funcional Secuencial (SFC)



SFC describe gráficamente el comportamiento secuencial de un programa de control. Esta definición deriva de las Redes de Petri y Grafcet (IEC 848), con las modificaciones adecuadas para convertir las representaciones de una norma de documentación en un conjunto de elementos de control de ejecución para una POU de un autómatas programable.

SFC ayuda a estructurar la organización interna de un programa, y a descomponer un problema en partes manejables, manteniendo simultáneamente una visión global. Los elementos del SFC proporcionan un medio para subdividir una POU de un autómatas programable en un conjunto de etapas y transiciones interconectadas por medio de enlaces directos. Cada etapa lleva asociados un conjunto bloques de acción y a cada transición va asociada una condición de transición que cuando se cumple, causa la desactivación de la etapa anterior a la transición y la activación de la siguiente. Los bloques de acción permiten realizar el control del proceso. Cada elemento puede ser programado en alguno de los lenguajes IEC, incluyéndose el propio SFC. Dado que los elementos del SFC requieren almacenar información, las únicas POU's que se pueden estructurar utilizando estos elementos son los bloques funcionales y los programas.

Se pueden usar secuencias alternativas y paralelas, comúnmente utilizadas en muchas aplicaciones. Debido a su estructura general, de sencilla comprensión, SFC permite la transmisión de información entre distintas personas con distintos niveles de preparación y responsabilidad dentro de la empresa.

Lenguajes de programación:

Se definen cuatro lenguajes de programación normalizados. Esto significa que su sintaxis y semántica ha sido definida, no permitiendo particularidades distintivas (dialectos). Una vez aprendidos se podrá usar una amplia variedad de sistemas basados en esta norma.

Los lenguajes consisten en dos de tipo literal y dos de tipo gráfico:

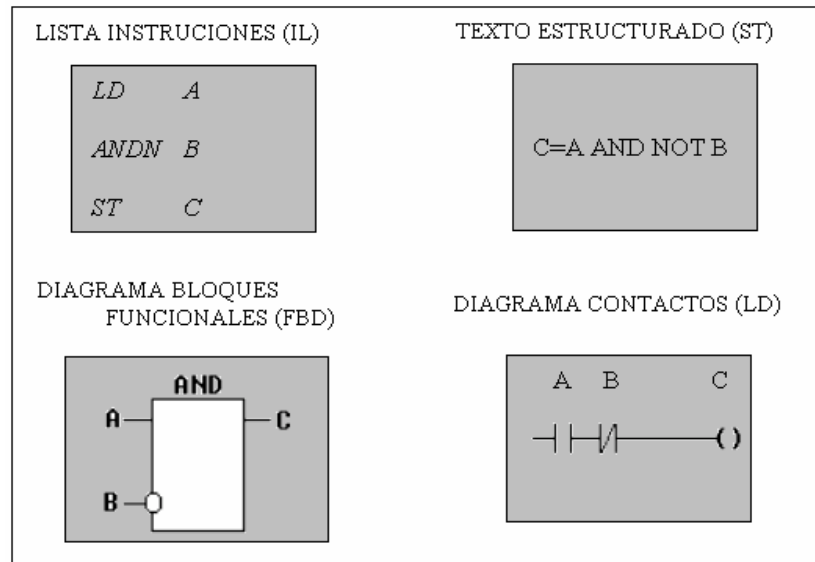
Literales:

- Lista de instrucciones (IL).
- Texto estructurado (ST).

Gráficos:

- Diagrama de contactos (LD).
- Diagrama de bloques funcionales (FBD).

Figura 18. Tipos de lenguaje de programación para PLC's



En la figura superior, los cuatro programas describen la misma acción. La elección del lenguaje de programación depende de:

- Los conocimientos del programador.
- El problema a tratar.
- El nivel de descripción del proceso.
- La estructura del sistema de control.
- La coordinación con otras personas o departamentos.

Los cuatro lenguajes están interrelacionados y permiten su empleo para resolver conjuntamente un problema común según la experiencia del usuario:

**El Diagrama de contactos (LD):** Tiene sus orígenes en los Estados Unidos. Está basado en la presentación gráfica de la lógica de relés.

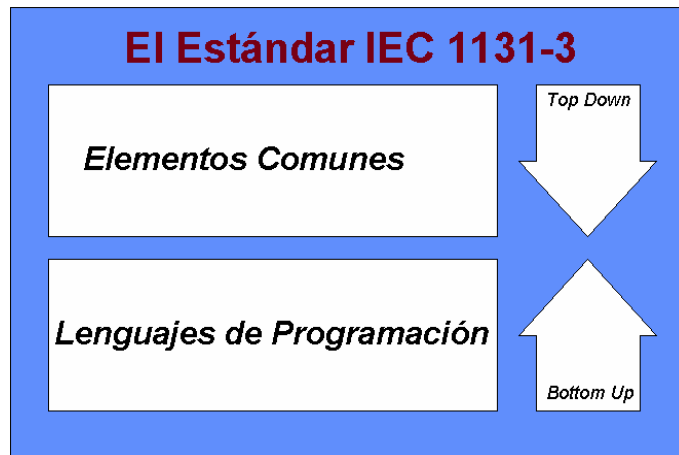
**Lista de Instrucciones (IL):** Es el modelo de lenguaje ensamblador basado en un acumulador simple; procede del alemán 'Anweisungsliste', AWL.

**El Diagramas de Bloques Funcionales (FBD):** Es muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados y es ampliamente utilizado en Europa.

**El lenguaje de Texto estructurado (ST):** Es un lenguaje de alto nivel con orígenes en el Ada, Pascal y 'C'; puede ser utilizado para codificar expresiones complejas e instrucciones anidadas; este lenguaje dispone de estructuras para bucles (REPEAT-UNTIL; WHILE-DO), ejecución condicional (IF-THEN-ELSE; CASE), funciones (SQRT, SIN, etc.).

La norma también permite dos formas de desarrollar el programa de control, (ver figura 19): de arriba a abajo (Top-down) y de abajo a arriba (bottom-up). Se puede especificar inicialmente la aplicación completa y dividirla en partes, declarar las variables y demás. También se puede comenzar la programación desde abajo, por ejemplo, por medio de funciones y bloque funcionales. Por cualquiera de los caminos que elijas, IEC 61131-3 te ayudará durante todo el proceso.

Figura 19. Desarrollo del programa Top-down vs. Bottom-up



Implementaciones:

Cumplir todos los requerimientos de la norma IEC 61131-3 no es fácil, por eso se permiten implementaciones parciales en varios aspectos. Esto hace referencia al número de lenguajes que soportan, las herramientas de desarrollo disponibles, y al número de funciones y de bloques funcionales. Con ello se deja libertad al proveedor o suministrador, pero el usuario debe tener cuidado durante el proceso de selección de la herramienta adecuada. Incluso una actualización del software puede dar lugar a un nivel muy alto de trabajo durante la implementación.

Muchos entornos de programación IEC actuales ofrecen aquello que se espera a nivel de interfase de usuario: uso de ratón, menús desplegables, pantallas de programación gráfica, múltiples ventanas, ayuda en línea, verificación durante el diseño, etc. Debe hacerse notar que estos detalles no están especificados en la norma por lo que es una de las partes donde los proveedores pueden diferenciarse.

## Conclusiones:
























































El uso de IEC 61131-3 proporciona numerosos beneficios para usuarios/programadores. Los beneficios de la adopción de este estándar son varios, dependiendo de las áreas de aplicación: Control de procesos, integrador de sistemas, educación, programación, mantenimiento, instalación, etc. Vamos a nombrar sólo algunos de estos beneficios:

- Se reduce el gasto en recursos humanos, formación, mantenimiento y consultoría.
- Evita las fuentes habituales de problemas por el alto nivel de flexibilidad y reusabilidad del software.
- Las técnicas de programación son utilizables en amplios sectores (control industrial en general).
- Combinan adecuadamente diferentes elementos que pueden provenir de diferentes fabricantes, programas, proyectos, etc.
- Incrementa la conectividad y comunicación entre los distintos departamentos y compañías



## Anexo B. Simbología IEC

Figura 20. Simbología IEC

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE		CONEXIÓN DELTA		DISPOSITIVO ACCIONADO POR PRESIÓN		BORNERA DE CORRIENTE SECCIONABLE Y CORTOCORTABLE
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE EN BLUZE		MOTOR		RELÉ DE FLUJO ACEITE		BLOQUE DE PRUEBA
	TRANSFORMADOR CON DEVANADOS SEPARADOS		MOTOR DE INDUCCIÓN CON ROTOR DEVANADO		DISPOSITIVO TÉRMICO		BORNERA DE PRUEBA DE CORRIENTE
	RESISTENCIA DE TIERRA		SISTEMA DE CONTROL COORDINADO		CONTACTO DE NIVEL		BORNERA DE PRUEBA DE TENSIÓN
	TIERRA		SELECTOR DE VOLTIMETRO		SIRENA		SIQUE QUE OPERA AL PRESIONAR O ATRAER
	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN CAPACITIVO		SELECTOR DE VARIAS POSICIONES		TIMBRE		OPERADO POR MANETA REDONDA
	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN		CONVERTIDOR DE SEÑAL		DIODO		CONTROL NEUMÁTICO O HIDRÁULICO
	BOBINA DE REACTANCIA O REACTOR		INSTRUMENTO INDICADOR A, V, Hz, Pa, W, var		DIODO EMISOR DE LUZ		SIQUE QUE OPERA CON LLAVE
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO		CONTADOR DE ENERGÍA		DIODO DE BLOQUEO		SELECTOR DE 2 O 3 POSICIONES
	AUTOTRANSFORMADOR		BOBINA DE CIERRE		RECTIFICADOR		TOMA MONOFÁSICO DE CORRIENTE CON POLO A TIERRA
	AUTOTRANSFORMADOR CON TERCIARIO		BOBINA DE APERTURA 1		BATERÍA		TOMA TRIFÁSICO DE CORRIENTE
	CONEXIÓN ESTRELLA		BOBINA DE APERTURA 2		CARGADOR DE BATERÍA		CONTACTO ABIERTO CON RETARDO A LA ENERGIZACIÓN
			BOBINA DE APERTURA 2		BLOQUE DE PRUEBA DE CORRIENTE		CONTACTO CERRADO CON RETARDO A LA ENERGIZACIÓN
			RELÉ SUPERVISOR DE CIRCUITO DE DISPARO				CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO CON RETARDO A LA REPOSICIÓN
			DISPOSITIVO DE ENCHUFE (EXTRAÍBLE)				CONTACTO NORMALMENTE CERRADO CON RETARDO A LA REPOSICIÓN

A02

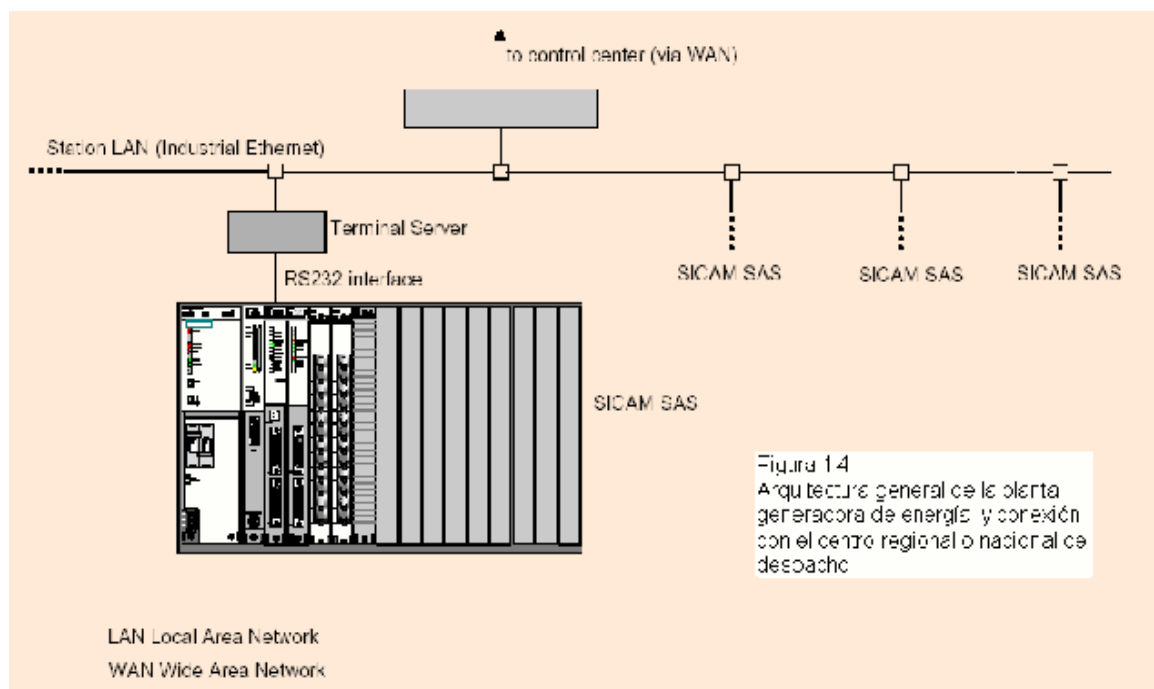
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO BORNES	DESCRIPCIÓN
	CONTACTOR		BOBINA DE RELÉ DE ACCIÓN INSTANTÁNEA		DEVANADO		GABINETE DE CONTROL
	CONTACTOR CON DISPARO AUTOMÁTICO		BOBINA DE RELÉ RÁPIDO		CARCAZA ATERRIZADA		GABINETE DE PROTECCIÓN
	OPERADO POR GIRO		BOBINA RELÉ BIESTABLE		INDICADOR ELECTROMECÁNICO CON REPOSICIÓN AUTOMÁTICA Y BANDEROLA		GABINETE CONCENTRADOR
	OPERADO POR PALANCA		BOBINA DE RELÉ CON RETARDO A EXCITACIÓN		RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO		GABINETE DE MEDIDA
	OPERADO POR NIVEL		BOBINA DE RELÉ CON RETARDO A REPOSICIÓN		RESISTENCIA FIJA		ARMARIO DE REAGRUPAMIENTO
	OPERADO POR ENERGÍA MECÁNICA ALMACENADA		CONECTOR		REACTANCIA FIJA		EQUIPO ELÉCTRICO
	OPERADO POR MOTOR		LÁMPARA DE INDICACIÓN		REACTANCIA FIJA		GABINETE DE DISTR. 208V-60Hz
	DISPOSITIVO DE POSICIÓN NORMALMENTE ABIERTO		CONTACTO		REACTANCIA FIJA		GABINETE DE DISTR. 125V ed
	DISPOSITIVO DE POSICIÓN NORMALMENTE CERRADO		CORRIENTE DIRECTA		REACTANCIA AJUSTABLE		GABINETE DE DISTR. 48V ed
	CONTACTO ACCIONADO POR NIVEL		CORRIENTE ALTERNA		REACTANCIA VARIABLE		GABINETE CONTRAINCENDIO
	CONTACTO ACCIONADO POR PRESIÓN		CONDUCTOR		CONDENSADOR		GABINETE REGISTRADOR DE FALLA
	CONTACTO ACCIONADO POR TEMPERATURA		n CONDUCTORES		SWICHE DE DISCREPANCIA INTERRUPTOR		CELIDAS 34,5 kV
	CONTACTO SENSIBLE A LA HUMEDAD		CONDUCTOR DEL NEUTRO		SWICHE DE DISCREPANCIA SECCIONADOR		EQUIPO DE TELECOMUNICACIONES
	FUSIBLE		CONDUCTOR APANTALLADO		INDICADOR DE POSICIÓN SECCIONADOR DE TIERRA		GABINETE DE ALARMAS
	RELÉ TÉRMICO		CRUCE DE LÍNEAS CON CONEXIÓN				SECCIONABLE
	RELÉ MAGNÉTICO		CRUCE DE LÍNEAS SIN CONEXIÓN				CON CUCHILLA DE DESCONEXIÓN
							GABINETE DE INTERPOSICIÓN
							GABINETE CONTROL REMOTO AUTOTRANFO
							GABINETE COMPUTADOR

A02

## Anexo C. Arquitectura SICAM

La arquitectura SICAM se acoge a la norma IEC 61131. Esta arquitectura implica que cada unidad generadora (turbina, generador, transformador y accesorios), cada subestación y los servicios auxiliares generales tengan un sistema de control, conectados en el nivel de supervisión y gestión por medio de Ethernet Industrial con acceso desde el centro de despacho regional o nacional. Ver figura 21.

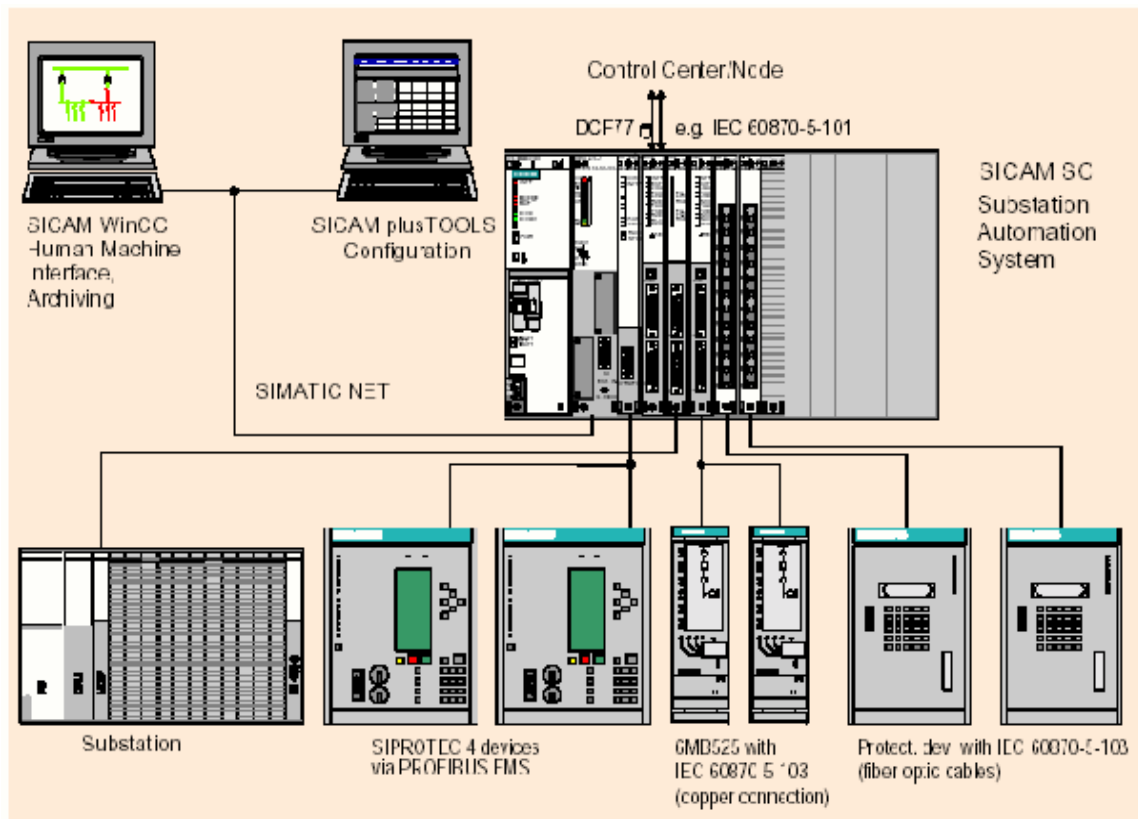
FIGURA 21. Arquitectura para una central de generación



Cortesía: SIEMENS S.A.

La arquitectura para una unidad de generación se puede ver en la siguiente figura.

Figura 22. Arquitectura para una unidad de generación (SICAM)



Cortesía: SIEMENS S.A.

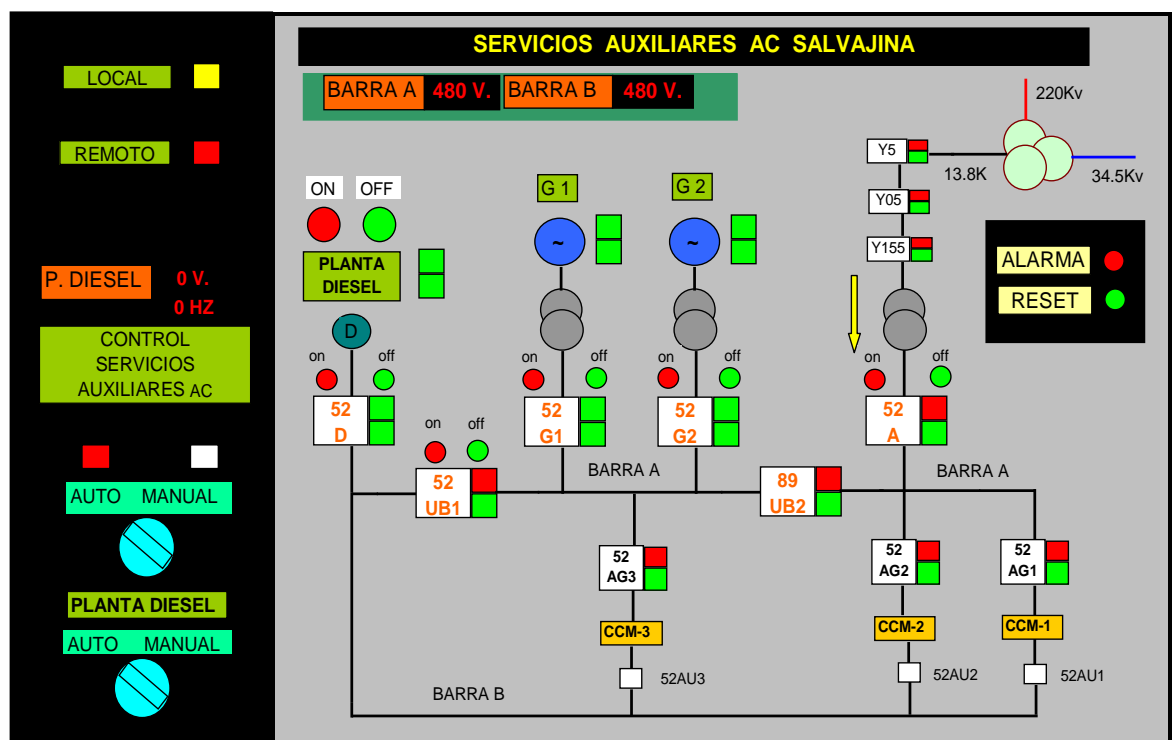
El sistema SICAM para una unidad de generación o subestación eléctrica consta de:

- Controlador o CPU.
- Conexiones al centro de control de despacho regional o nacional.
- Conexiones a nivel de subred con otras SICAM, equipos de protección, contadores de energía, HMI.
- Sincronización externa de reloj vía GPS o DF77-Europa.
- Estación de Ingeniería.
- Estaciones de Operación HMI.

## Anexo D. Interfaz grafica

Despliegue en pantalla de la herramienta Pro-tool. Es un software para diseñar el control de los servicios auxiliares de corriente alterna desde un PC. El manejo del proceso de control puede llevarse a cabo mediante un manejo manual desde el tablero de control o desde un PC de forma virtual. El programa para la interfase HMI se elabora creando una pantalla de programación correspondiente a los eventos del proceso, se parametrizan cada uno de los valores que se censan y se realiza la discriminación de los datos digitales que maneja el PLC.

Figura 23. Interfaz grafica



## Anexo E. Ubicación física para la instalación del PLC

El sitio escogido y apto para instalar el autómata programable es el cubículo AG-21 plano (B), parte del fondo del tablero de las celdas blindadas, cota 1030.

El tablero cuenta con las condiciones adecuadas como son: Temperatura ambiental, ventilación, protección de partículas de polvo y agua, cumple con la norma NTC 3279 (IEC60529).

Figura 24. Sitio de instalación del PLC



Cortesía: EPSA E.S.P.

## Anexo F. Oferta de equipos con software normalizado

Realizadas las consultas con diferentes proveedores de equipos se obtuvieron las siguientes cotizaciones. Las ofertas con las observaciones indicadas tienen una validez de sesenta (60) días contados a partir de la fecha de expedición.

### EVALUACION DE OFERTAS:

- El OPTO 22 es un equipo de grandes prestaciones y de gran capacidad pero no cumple con la norma IEC 61131-3.
- ALLEN BRADLEY cumple con la norma IEC 61131-3, es un equipo de alta confiabilidad y robustez.
- SIEMENS Serie S7-200 cumple con la norma IEC 61131-3, equipo de gama baja pero cumple con las especificaciones del proyecto

La decisión la tomara la empresa y tendrá en cuenta factores como el económico y el de estandarización de marcas que se lleva actualmente.

OFERTA ALLEN BRADLEY: distribuidor OMNICON LTDA

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO \$	VALOR TOTAL \$
1	1	Procesador.	\$ 7,848,000	\$ 7,848,000
		Características:		
		PROCESADOR SLC 5/05, 16 KW. MEMORIA, 1 PUERTO RS-232/485, 1 PUERTO ETHERNET.		
		Ref: 1747-L551		
2	3	Módulo.	\$ 1,123,200	\$ 3,369,600
		Características:		
		MODULO DE 32 E. A 24 VCC.		
		Ref: 1746-IB32		
3	3	Módulo.	\$ 830,400	\$ 2,491,200
		Características:		
		MODULO DE 16 S. POR RELÉ.		
		Ref: 1746-OW16		
4	1	Módulo.	\$ 7,800,000	\$ 7,800,000
		Características:		
		MODULO PROFIBUS PARA SLC 500.		
		Ref: SST-PFB-SLC		
5	1	Chasis.	\$ 1,308,000	\$ 1,308,000
		Características:		
		CHASIS PARA 10 MODULOS.		
		Ref: 1746-A10		
6	1	Tarjeta.	\$ 100,000	\$ 100,000
		Características:		
		Tarjeta de red 10/100 para PC		
7	2	Chasis.	\$ 50,400	\$ 100,800
		Características:		
		TAPAS FRONTALES MODULOS.		
		Ref: 1746-N2		
8	1	Fuente de alimentación.	\$ 1,348,800	\$ 1,348,800
		Características:		
		FUENTE ALIMENTACIÓN A 125 VCC 5A		
		Ref: 1746-P5		
9	1	Software	\$ 4,910,400	\$ 4,910,400
		Características:		
		RSVIEW32 RUNTIME 300 TAGS. INGLÉS		
		Ref: 9301-2SE3200		
VALOR TOTAL DEL HARDWARE.				29,276,800.00



OFERTA OPTO 22: distribuidor SINCRÖN LTDA

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	Vr. US\$	TOTAL
C-3189	ETHERNET BASED PROGRAMMABLE AUTOMATION CONTROLLER WITH 2 ETHERNET PORTS SNAP-PAC-S1	1.00	1,860	1,860
C-2394	SNAP SIMPLE I/O BRAIN DIGITAL - ANALOG SNAP-ENET-S64	1.00	600	600
C-2318	SNAP 16 MODULE MULTIFUNCTION RACK SNAP-M64	2.00	276	552
C-2112	POWER SUPPLY - SINGLE RACK - 110 VAC TO 5 VDC SNAP-PS5	2.00	360	720
C-1865	4 CHANNEL DC INPUT 10-32VDC 5VDC LOGIC SNAP-IDC5	18.00	68	1,224
C-2441	DC OUTPUT REED RELAY SNAP-ODC5R	11.00	72	792
C-3406	SNAP PROFIBUS MODULE SNAP-SCM-PROFI	1.00	576	576
C-3296	POWER SUPPLY 110-240/24 VDC-6-5A-MEAN WELL S-150-24-MEAN WELL	1.00	130	130
C-3223	IOPROJECTPRO SOFTWARE SUITE IOPROJECTPRO	1.00	1,440	1,440

**TOTAL US \$ 7.894**

OFERTA SIEMENS S7-200: distribuidor KAMATI LTDA

<b>Equipos y materiales</b>	<b>Referencia</b>	<b>Marca</b>	<b>Cant</b>	<b>Unid</b>	<b>valor unitario</b>	<b>sub.-total</b>
CPU 226 24DI/16DO	6ES7216- 2BD23-0XB0	Siemens	1	UND	2.008.020	2.008.020
Mod. EM277 interfase Profibus DP/MPI	6ES7277- 0AA22-	Siemens	1	UND	762.440	762.440
Tarjeta PCI CP5611 Simatic NET	6GK1561- 1AA01	Siemens	1	UND	1.848.770	1.848.770
Mod. EM223 16DI/16DO 2 A relé 24vdc	6ES7223- 1PL22-0XA0	Siemens	3	UND	1.031.590	3.094.770
WinCC flexible runtime 128 variables	6AV6613- 1BA01-1CA0	Siemens	1	UND	1.666.000	1.666.000
Bloque relé interfase 24vdc	LZX:RT4A4L24	Siemens	42	UND	32.080	1.346.520
Fuente Sitop 5 A salida 24vdc	6EP1333- 2BA00	Siemens	1	UND	601.930	1.601.930
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 12.328.450</b>	

- **LISTADO DE MATERIALES**

Tabla 6. Listado de materiales

<b>Materiales</b>	<b>Referencia</b>	<b>Marca</b>	<b>Cant</b>	<b>Unid</b>	<b>valor unitario</b>	<b>sub.-total</b>
Cable de cobre aislado AWG #16 600 V.	TFF	Centelsa	300	ML	500	150.000
Canaleta plástica ranurada x 2 ml	C25x40	Dexson	10	UND	9.500	95.000
Terminal de manguito cable 10 16	AL 1,5-8 BK	Phoenix Contac	300	UND	74	22.200
Marcador cable tipo anillo	AR1	Dexson	100	UND	2.300	230.000
Bornera	UK-5	Phoenix Contac	150	UND	2.850	427.500
<b>TOTAL</b>						<b>924.200</b>

Materiales requeridos para la implementación del Autómata Programable sin importar la marca del equipo que se adquiriera por parte de la empresa.

Anexo G. Planos para conexión del PLC

Se han realizado los planos según la norma IEC, esta estructura sirve para cualquier tipo de módulo que se adquiera.

Figura 25. Hoja 1 planos

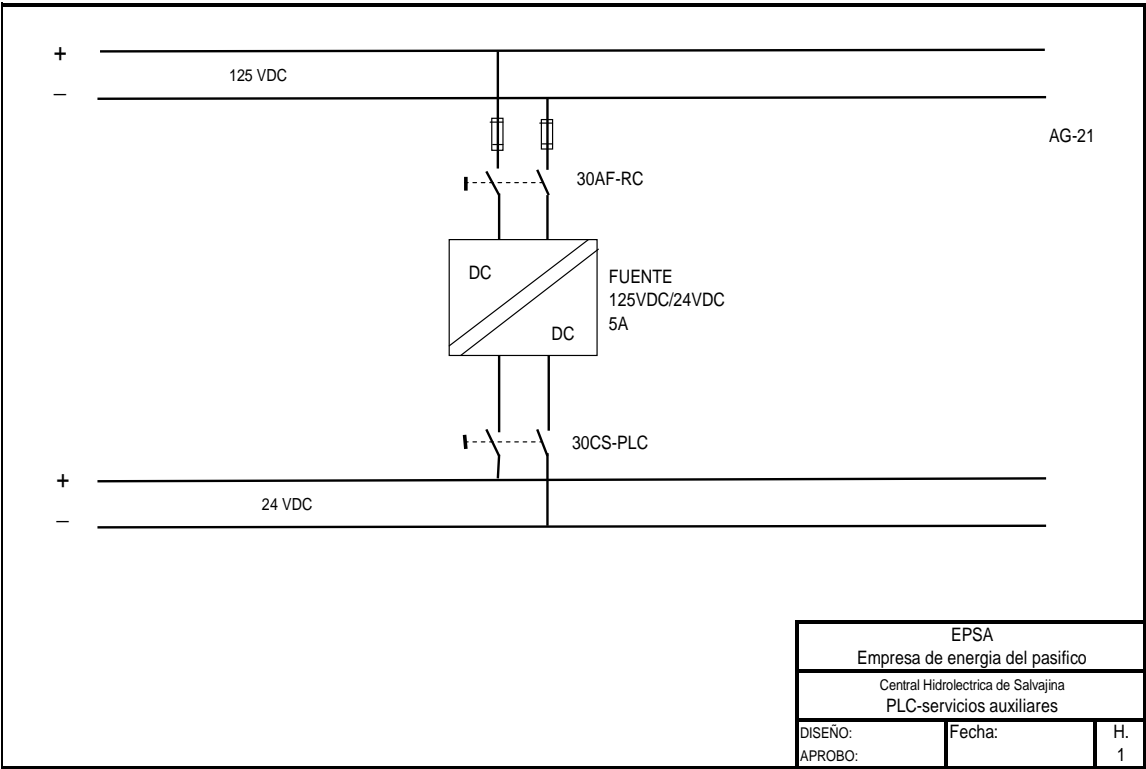


Figura 26. Hoja 2 planos

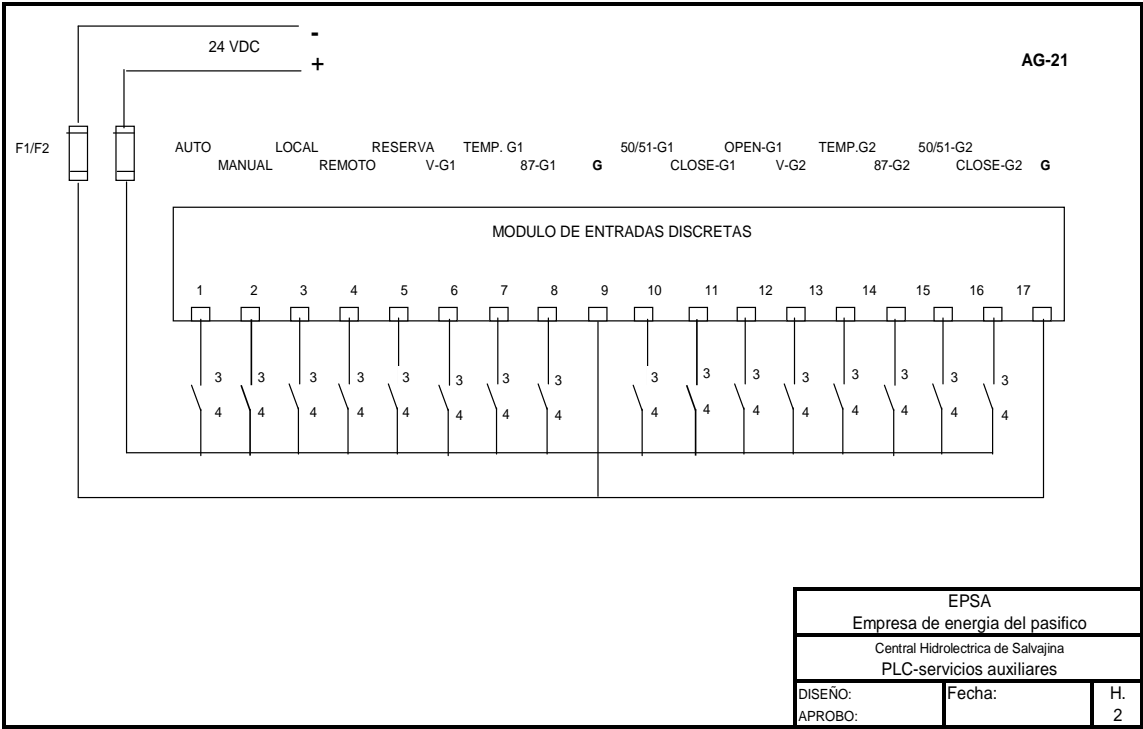


Figura 27. Hoja 3 planos

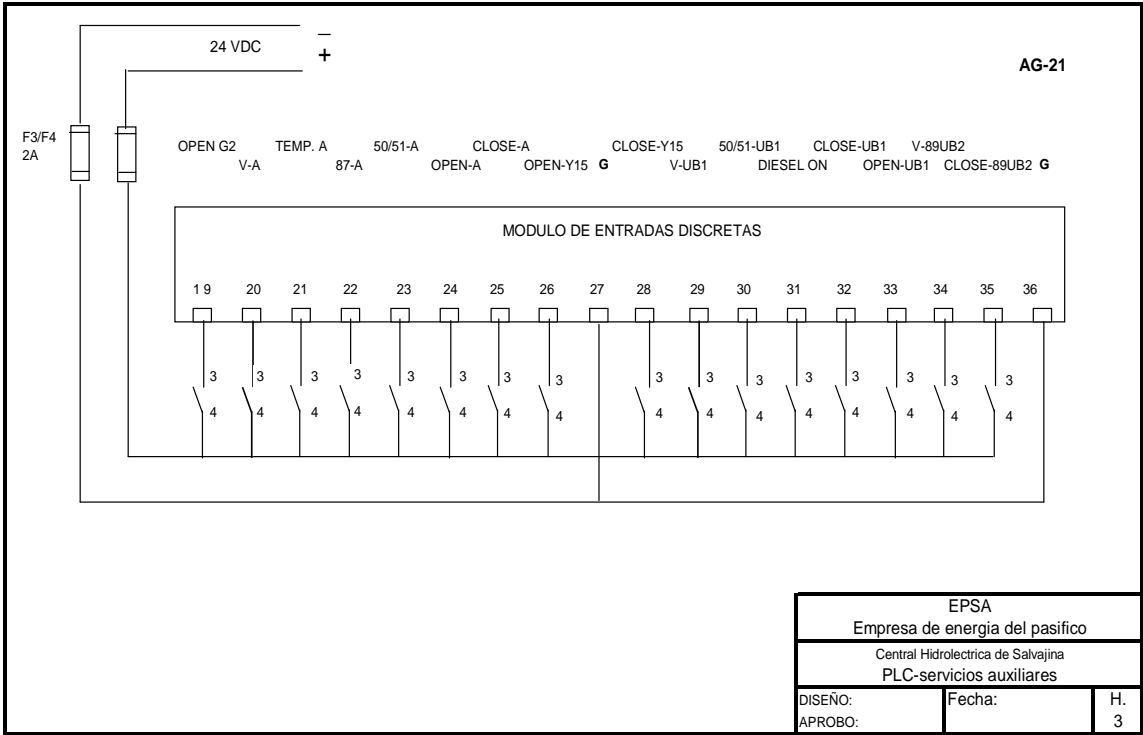


Figura 28. Hoja 4 planos

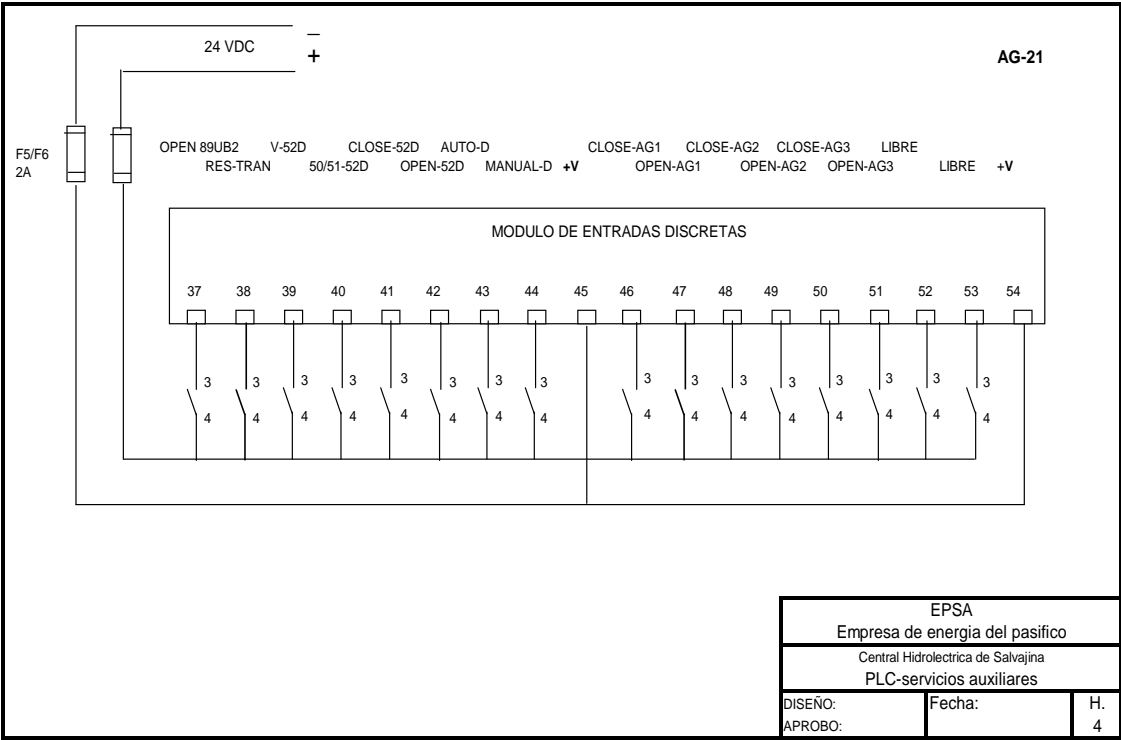


Figura 29. Hoja 5 planos

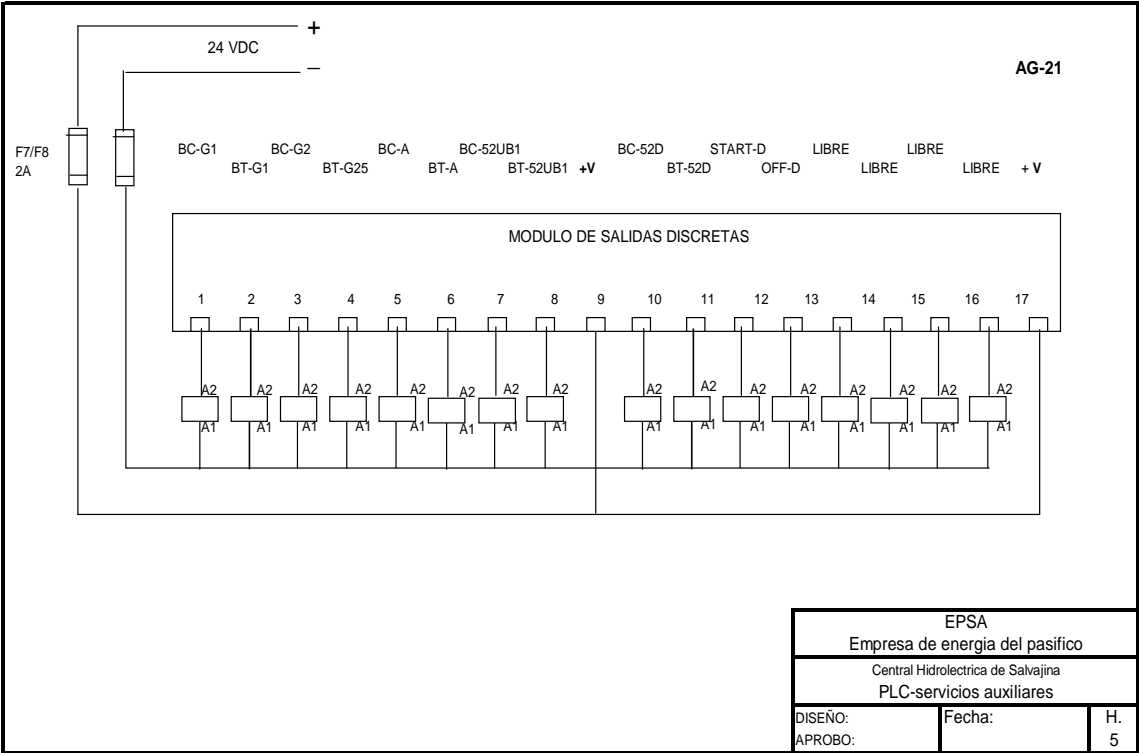




Figura 30. Hoja 6 planos

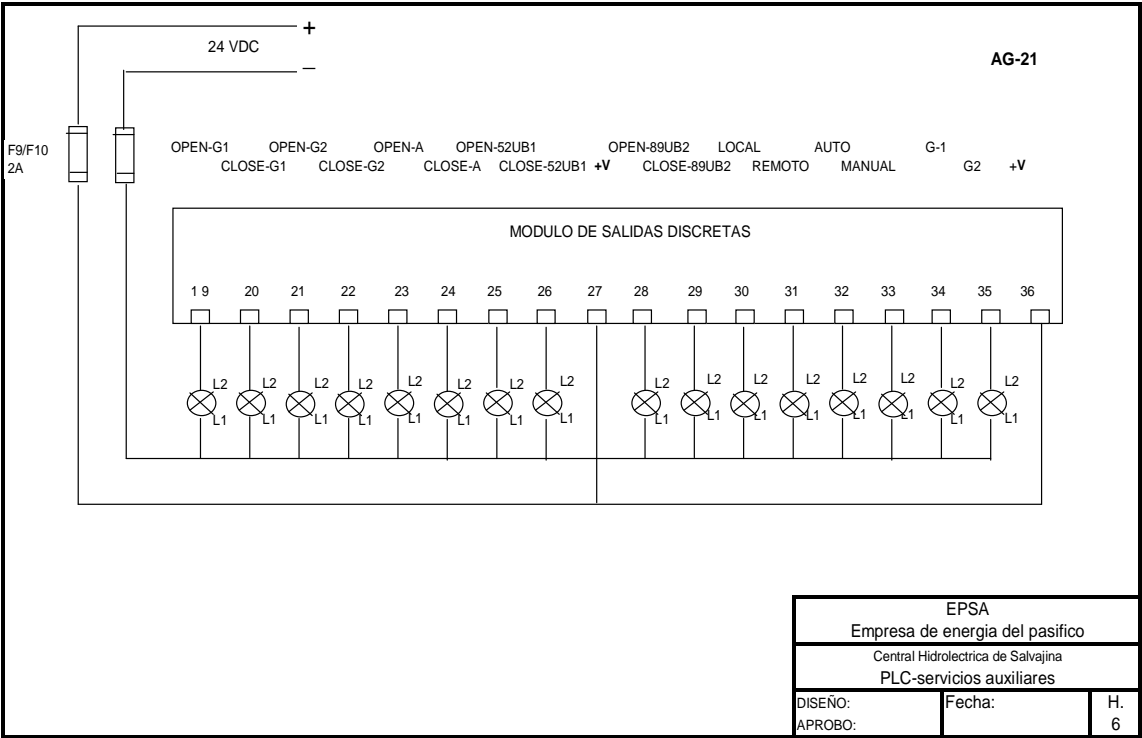
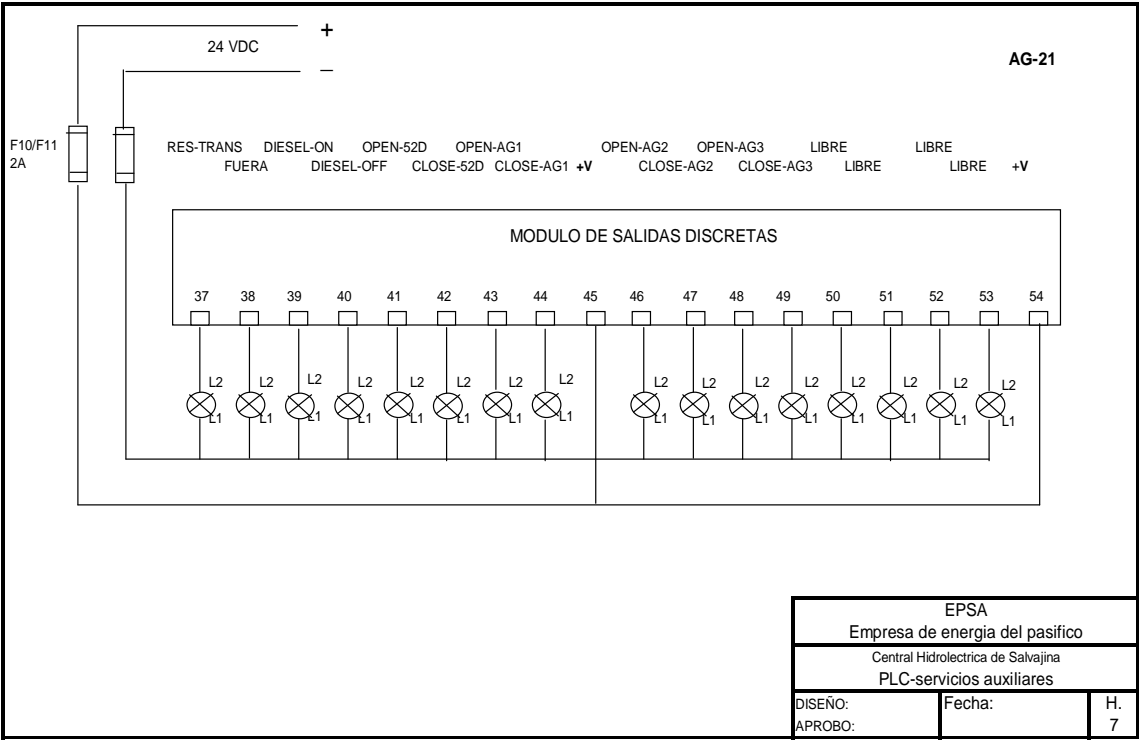


Figura 31. Hoja 7 planos



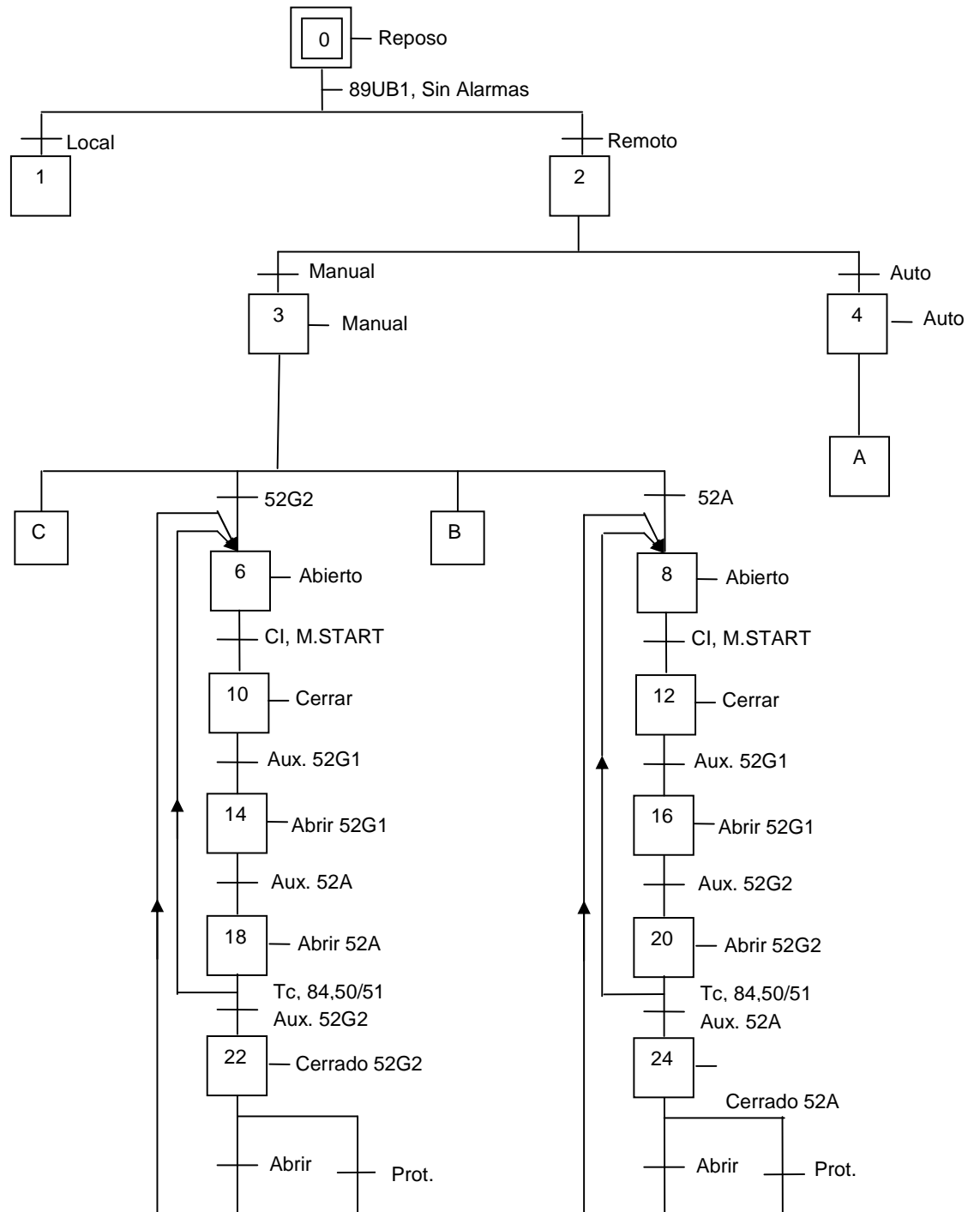
## Anexo H. Programa GRAFCET para el control de los servicios auxiliares AC

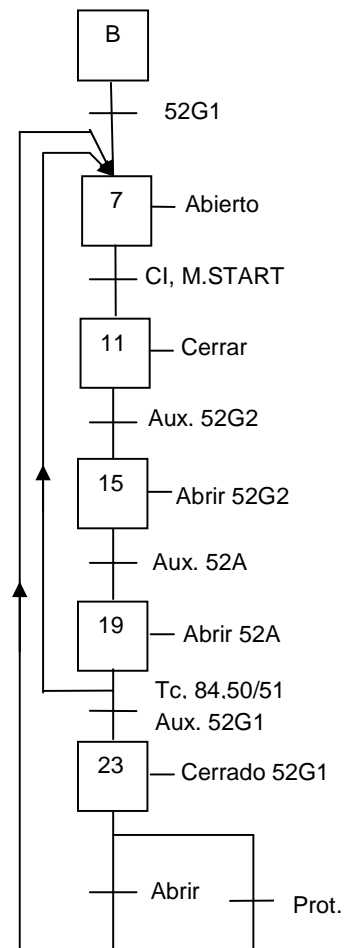
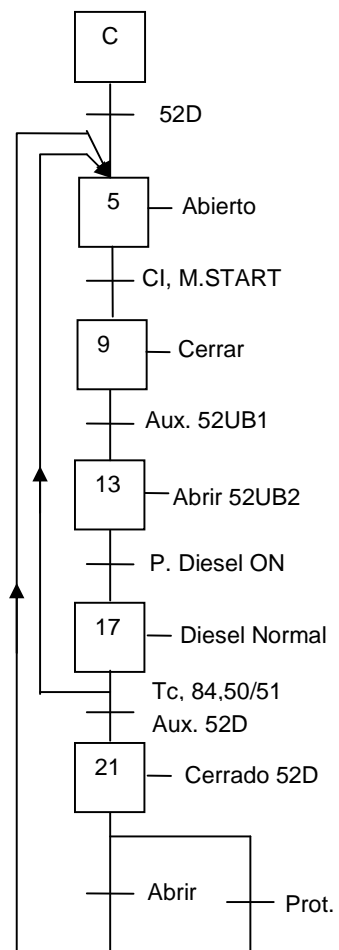
El Grafcet, grafico de mando etapa-transición, es un método de representación de sistemas secuenciales y concurrentes, profusamente utilizado en la programación de autómatas. El Grafcet esta reconocido por la norma IEC-848(Preparación de diagramas funcionales para sistemas de control). Así mismo esta reconocido en la norma IEC-61131.

El Grafcet es un diagrama funcional cuyo objetivo es describir de forma grafica automatismos secuenciales y concurrentes. Esta definido por unos elementos gráficos y unas reglas de evolución que reflejan la dinámica del comportamiento del sistema.

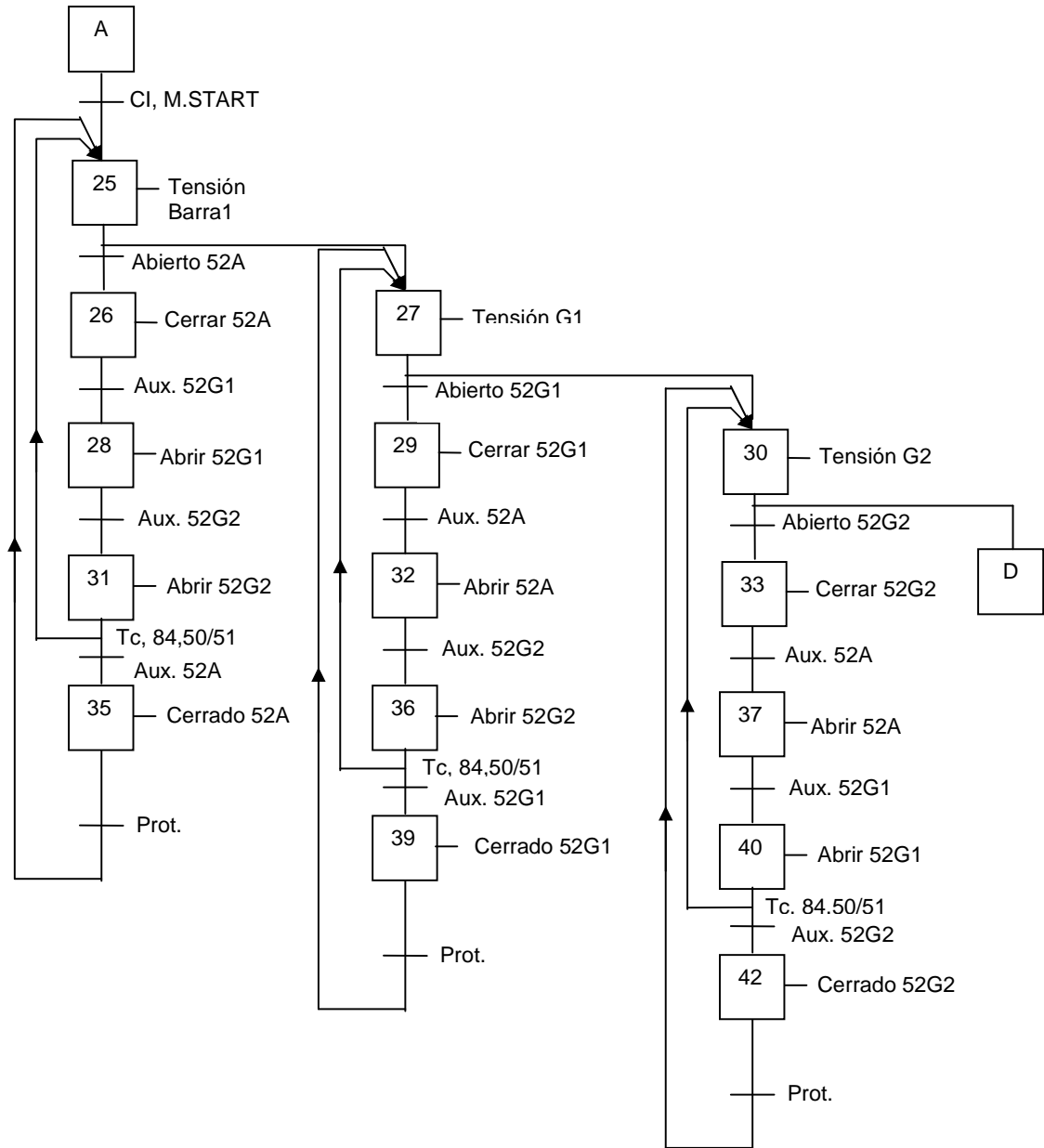
Todo automatismo secuencial o concurrente se puede estructurar en una serie de etapas que representan estados o sub-estados del sistema en los cuales se realizan una o más acciones, así como transiciones, que son las condiciones que deben darse para pasar de una etapa a otra

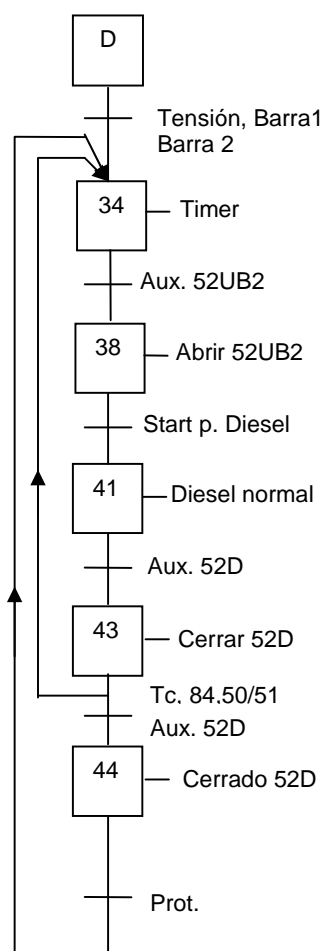
## OPERACIÓN DE LOS INTERRUPTORES





## SECUENCIA AUTOMATICA





## Anexo I. Resumen IEEE (formato IFAQ)

### **Pasantía** **Diseño de Ingeniería conceptual, básica y de detalle** **para la automatización del control de los servicios** **auxiliares de La Central Hidroeléctrica de Salvajina**

ELIAN OSORIO TABORDA

[elianot@hotmail.com](mailto:elianot@hotmail.com)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE

[www.uao.edu.co](http://www.uao.edu.co)

**Resumen.**-Este documento explica los beneficios y cómo se puede actualizar tecnológicamente el control de los Servicios Auxiliares de corriente alterna de la Central Hidroeléctrica de Salvajina, cambiando la lógica cableada por lógica programada, instalando un Controlador Lógico Programable.

**Palabras Clave:** SCADA (Sistema de Supervisión, Control y adquisición de Datos), PLC (Control Lógico Programable), HMI (Interfaz Hombre-Maquina), CCM (Centro de Control de Motores).

#### I. INTRODUCCIÓN

Como opción de trabajo de grado se realizó una pasantía en el Área Eléctrica de LA CENTRAL HIDROELECTRICA DE SALVAJINA, la cual consistió en el desarrollo de un proyecto para el cambio de la lógica cableada por lógica programada (Controlador Programable), para el control de los SERVICIOS AUXILIARES de Corriente Alterna de La Central.

#### II. FUNCION DE LOS SERVICIOS AUXILIARES DE AC

Los servicios auxiliares comprenden un conjunto de equipos utilizados para dirigir el flujo de energía en un sistema de potencia y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos

automáticos de protección y para redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternas o durante contingencias.

Actualmente los servicios auxiliares de corriente alterna para la central pueden obtenerse desde las barras de 13.8Kv de los generadores 1 ó 2 y desde la subestación encapsulada a través del transformador tridevanado de 220Kv/34.5Kv/13.8Kv., existe un transformador de suplencia de 34.5Kv/13.8Kv., que puede ser alimentado por la línea de 34.5Kv interconectada con el municipio de Jamundi (Valle).

Los servicios auxiliares de La Central Hidroeléctrica de Salvajina operan a 480 voltios AC y son alimentados por 4 fuentes de energía principal y una de emergencia como se describen a continuación.



#### **Servicios auxiliares barra A:**

- De generador 1 (a través de transformador de 1500KVA 13.8Kv/480v)
- De generador 2 (a través de transformador de 1500KVA 13.8Kv/480v)
- De transformador tridevanado lado de 13.8 Kv (220/34.5/13.8 Kv.)
- De transformador de suplencia 750KVA línea 34.5 Kv Jamundi.

#### **Servicios auxiliares barra B:**

- Planta Diesel de Emergencia

El sistema cubre los servicios eléctricos de potencia que requieren los equipos asociados a las unidades generadoras y el edificio en general. El voltaje de fuente es de 13.800 voltios.

Las barras A y B están unidas por el interruptor 52UB1 que debe operar ante un evento de disparo de las unidades o del sistema interconectado nacional y poder así conectar la planta Diesel. El barraje A tiene un seccionador manual 89UB2 que se opera con fines de mantenimiento.

El modo automático de operación de los servicios auxiliares de energía eléctrica, se considera el modo de operación normal de la central, este sistema requiere un mínimo de atención por parte del personal de operación y se suprimen los posibles errores operativos.

Para la operación manual, los servicios auxiliares pueden obtenerse desde las barras de 13.8 Kv de los generadores 1 ó 2 y desde la subestación encapsulada de 220Kv. A través del transformador tridevanado la fuente de energía seleccionada depende de cómo se este operando la central.

El sistema de servicios auxiliares de potencia esta diseñado para operar de varias formas, con el objeto de asegurar una adecuada alimentación para el funcionamiento de la central durante épocas de mantenimiento, durante fallas, así como durante la operación normal de la planta.

Cuando la central se quede sin energía eléctrica esto es, todas las unidades paradas y las líneas de Pance y Juanchito fuera de servicio, la planta Diesel de emergencia puede suministrar energía para:

- Iluminación de emergencia de Casa de Maquinas.
- Un compresor de aire para el gobernador de velocidad.
- Una bomba de aceite.
- Una bomba de refrigeración.
- Una bomba de drenaje.
- Un cargador de baterías.
- Un centro de control de motores con el objeto de ejecutar el arranque de una unidad, llevarla a barras de 220 KV y restablecer los servicios auxiliares de potencia en su totalidad

En el caso de que las 3 unidades estén paradas, las barras de 220Kv pueden ser energizadas a través de las líneas de Pance o Juanchito, y así por el lado del transformador tridevanado y su salida de 13.8Kv a su respectiva celda blindada de 13.8Kv.

### **III. PARTES QUE CONFORMAN LOS SERVICIOS AUXILIARES**

Los servicios auxiliares están conformados por un tablero de mando en la sala de control, allí se encuentran los siguientes dispositivos:

- Perilla selectora para operación manual y automática de los interruptores.
- Una perilla 43 lead (adelanto) para seleccionar generador 1 ó 2 como fuente primaria.
- Una selección 43 follow (seguidor) para seleccionar G1/G2 ó transformador tridevanado como fuente externa.
- Arranque manual ó automático para la planta de emergencia en caso de que la central se quede totalmente sin energía eléctrica.

El interruptor (Fig. 1) que es un dispositivo de maniobra que por un lado controla el flujo de energía entrando o sacando del servicio circuitos para poder llevar a cabo mantenimientos, por otro

lado el interruptor hace parte del esquema de protecciones que automáticamente desconecta cualquier parte del sistema donde haya ocurrido una falla.

Fig. 1. Interruptor de potencia



Cortesía: EPSA E.S.P.

Los tableros de servicios auxiliares (Fig. 2), se denominan GAS A y GAS B (General Auxiliary Services), tablero de servicios generales. Se complementan con un tablero denominado “Celdas Blindadas”, este recibe la tensión de 13.8Kv proveniente del transformador tridevanado de la subestación a 220 Kv.

En estos gabinetes se encuentran las barras A y B a 480 voltios, también están alojados los interruptores con sus respectivas protecciones y los controles para la operación local-manual en caso de que el automatismo existente no trabaje adecuadamente.

Fig. 2. Tablero de servicios auxiliares



Cortesía: EPSA E.S.P.

#### IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El control de los Servicios Auxiliares de corriente alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina presenta un atraso tecnológico evidenciado por una lógica cableada controlada por más de 350 contactos y otros dispositivos de accionamiento eléctrico.

Existe calentamiento excesivo de los relés, debido a la cantidad de estos elementos que tiene el sistema y el reducido espacio por la robustez de las partes. Esto ocasiona que se vuelva muy laboriosa y larga la actividad de los mantenimientos tanto preventivos como correctivos.

No existe en la actualidad un panel ó tablero que nos muestre detalladamente el diagnostico del control y la supervisión de variables.

El control no opera adecuadamente en forma automática ante eventos ó cuando se realizan maniobras sobre los interruptores de los servicios auxiliares.

Es uno de los sistemas que requiere mayor cantidad de órdenes de mantenimiento tanto preventivo como correctivo, verificable mediante las estadísticas de mantenimiento por la frecuente contaminación de contactos y reposición ó reparación de componentes de los relés, sumado a lo anterior la difícil comercialización de estos dispositivos.

#### V. JUSTIFICACION

- Los controles, la supervisión y protecciones de un equipo ó sistema electro-mecánico deben estar soportados por un diseño de respuesta inmediata, facilidad en actividades de mantenimiento, poseer una selectividad y por ende una continuidad en el servicio que presta.
- La modernización del control de los servicios auxiliares es de gran importancia porque repotencializa el equipo, mejora la

disponibilidad y disminuye los costos de mantenimiento.

- El control mediante un autómata programable ofrece grandes ventajas como son: Mejorar la confiabilidad del sistema, Eliminar posibles errores humanos, Reducir pérdidas económicas, Reducido espacio para su instalación, Como la lógica del circuito es programada se elimina la necesidad de utilizar relés y temporizados, todos estos elementos se programan en el Autómata.
- Se requiere de un panel de anunciación que presente el estado de los interruptores en tiempo real, estado de la secuencia que debe operar al momento de una falla en estos servicios o ante una maniobra propia efectuada por el operador.
- En la actualidad y dados los cambios en las leyes energéticas Colombianas debido a la entrada en vigencia de normas y reglamentos eléctricos, se manejan protocolos con sanciones manifiestas por continuidad del servicio y rapidez de respuesta.

#### **Beneficios específicos:**

El autómata programable industrial aporta una serie de ventajas como son las siguientes:

- Diseñados y contruidos para su aplicación en ambiente industrial.
- Son equipos flexibles, por su carácter programable.
- Son fáciles de instalar y reutilizables.
- Contruidos de forma que sea fácil el mantenimiento y la localización de averías.
- Pueden emplearse en múltiples tipos de tarea de control en una misma planta, lo que facilita el aprendizaje, permite un mayor conocimiento y explotación de prestaciones.

- Su capacidad de comunicaciones permite la integración en la tarea global de control, o sistema de producción integrado.

#### **VI. VERIFICACION DE CONEXIONES**

Se recolectó la siguiente información del control de los Servicios Auxiliares de Corriente Alterna de La Central Hidroeléctrica de Salvajina:

- Plano Ingetec volumen IV, circuito 84, servicios auxiliares generales (59 paginas).
- Tablero de distribución de servicios generales  
Fabricante: Togami Electric Works Co. Ltda  
Japón
- Tablero de maniobras de 13.8 Kv de unidad  
Fabricante: Toshiba Corporation Japón
- Manual de funcionamiento del equipo y hoja de ruta para actividades de mantenimiento.
- Conexionado en borneras de: Celda de control interruptores, tablero de control y mando, celdas de cada uno de los interruptores de potencia.

Se realizó la verificación punto a punto de toda la lógica cableada con los planos de control eléctrico existentes en la central, se anotaron nombres de borneras y puntos de conexión. El plano coincide con lo real instalado, se procedió a la respectiva documentación.

Después de realizar los puntos anteriores y con un diagrama de control y potencia actualizado se definió el listado de entradas y salidas para determinar la capacidad del equipo controlador programable (PLC).

#### **VII. ESTRATEGIA DE CONTROL**

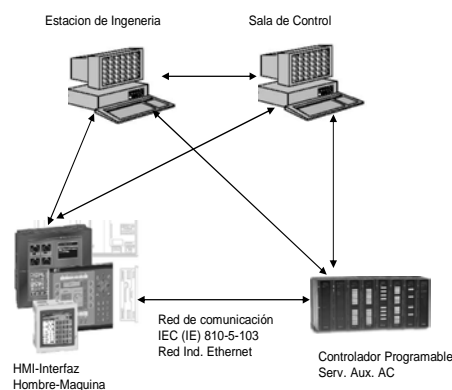
En la figura 3 se ha desarrollado la arquitectura de control y comunicaciones propuesta para la automatización de los servicios auxiliares de La Central Hidroeléctrica de Salvajina.

Se quiere realizar la instalación de un controlador programable para el control, la supervisión y el

monitoreo de las secuencias llevadas a cabo para el cambio de los servicios auxiliares de una fuente a otra, tanto en forma automática, como en forma manual.

Además deben quedar indicadas las alarmas en caso de presentarse, y guardar un registro histórico de anomalías presentadas. Este requerimiento se logra con el software de programación y se debe incluir en los planes de cotización y de adquisición del equipo.

Fig. 3. Arquitectura de control para los servicios auxiliares



### Requerimientos del sistema

#### HARDWARE:

- Controlador programable.
- El sistema funcionara con una pantalla tipo HMI, este novedoso sistema de interacción entre el usuario y la maquina permite el manejo de menús para consulta de datos o eventos y la parametrización de procesos.
- Una estación de control para desarrollo de ingeniería y de nuevos procesos que con seguridad se pueden ir implementando, debido a que muchos sistemas en la planta requieren de una actualización tecnológica.
- Red de comunicaciones RS- 485.

#### SOFTWARE:

- La estación de sala de control contara con su respectiva interfaz de comunicación y el software para correr la aplicación que sea adquirida (Ej.: WinCC de SIEMENS, IOPROJECTPRO con OPTO 22) esta estación quedara interconectada con los demás equipos que componen el sistema.
- Acceso libre por OPC para aplicaciones de PC y también el acceso inalámbrico sobre Wireless Ethernet serán tenidos en cuenta para futuras aplicaciones.

### VIII. CONCLUSIONES

La introducción de sistemas inteligentes en la actualidad es la solución mas adecuada a procesos y máquinas donde se requiere rapidez, confiabilidad de operación, facilidad para el mantenimiento y por sobre todo, economía.

Los autómatas programables tiene la cualidad de acomodarse a cualquier proceso, mediante el uso de estrategias podemos implementar los desarrollos necesarios para el control de los interruptores, realizar una estrategia para las alarmas y configurar sistemas de estaciones graficas para interacción con el operador y con las estaciones de ingeniería. Llevar registros de operación para el control y monitoreo de las diferentes variables que intervienen en este proceso, etc.

En general, el sistema de supervisión de alarmas y/o disparos y de control mediante mandos se podrá ejecutar de las siguientes maneras:

- Modo manual.
- Modo automático.
- Desde perillas ubicadas en sala de control.
- Desde pantalla HMI ubicada en sala de control.
- Desde estación maestra o de ingeniería.

El estudio realizado al control los servicios auxiliares de la Hidroeléctrica de Salvajina muestra los siguientes aspectos:

- Los interruptores se encuentran en buen estado de apariencia así como de funcionamiento. Tienen protección electrónica incluida la cual se puede aprovechar para el nuevo control por PLC.
- Se observa que la gran mayoría de relés presenta deterioro físico debido al calentamiento.
- El sistema de control no es totalmente automático, ya que ante un evento, al operador le toca realizar varias maniobras para reestablecer los servicios auxiliares nuevamente.
- Existe una alarma general para indicar ausencia de tensión de los servicios auxiliares, pero no indica específicamente que parte del circuito es el que fallo.
- El cableado de los controles esta en buen estado y cumple con las normas técnicas requeridas para este tipo de procesos.
- Todos los elementos están debidamente marquillados, esto facilita el seguimiento de los circuitos de acuerdo a los planos eléctricos.
- Se cuenta con una fuente de alimentación de 125VCC proveniente de 2 bancos de baterías de gran capacidad.
- Las perillas para selección del control tanto automático como manual se deben reemplazar ya que presentan desgaste de sus partes mecánicas.

## IX. RECOMENDACIONES

Las siguientes son las recomendaciones para modernizar el control de los servicios auxiliares de corriente alterna de la Central Hidroeléctrica de Salvajina.

- Para tener visualización de los valores de tensión y corriente de las barra se deben instalar acondicionadores de señal y un modulo de señales análogas para el PLC.
- Se debe realizar un mantenimiento general a los interruptores y habilitar el dispositivo electrónico de sobré corriente.
- Para habilitar el software de control se debe destinar un PC en la sala de control.
- Para ejercer un control total sobre el sistema, los interruptores manuales se deben cambiar por interruptores motor-operados (52AG4, 52AG5, 52AG6)
- Se debe realizar una modificación del circuito de apertura y cierre de los interruptores 52AG1, 52AU1, 52AG2, 52AU2, 52AG3, 52AU3, con el fin de que la alimentación de control de las unidades siempre se tome del barraje principal A y no de cada unidad como esta funcionando en la actualidad.

## REFERENCIAS

- HARPER, Enríquez. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. 2 ed. México: Limusa, 2000. 509 p.
- LUCA M., Carlos. Plantas eléctricas: teoría y proyectos. 8 ed. México: Alfa omega, 1995. 447p.
- PIEDRAFITA MORENO, Ramón. Ingeniería de la automatización industrial. Madrid: RE-MA, 2001. 576 p.
- RAMIREZ G., Carlos Felipe. Subestaciones de alta y extra alta tensión. Colombia: Mejia Villegas, 1991. 971p.
- RAMIREZ VAZQUEZ, D. José. Enciclopedia CEAC de electricidad. (Centrales Eléctricas) 5 ed. España: GERSA, 766 p.
- INGETEC S.A. Diagramas elementales Auxiliares Generales: Hidroeléctrica Salvajina. Volumen I.